



Sekundavand i Nordhavn

En forundersøgelse til strategi for alternativ vandleverance

Rygaard, Martin; Alsbjørn, Lene; Ejsing, Morten; Godskesen, Berit; Hansen, Rene; Hoffmann, Birgitte; Jørgensen, Claus; Ledgaard, Kirsten; Friis Møller, Hans-Martin; Poulsen, Maj-Britt B.

Total number of authors:

14

Publication date:

2013

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):

Rygaard, M., Alsbjørn, L., Ejsing, M., Godskesen, B., Hansen, R., Hoffmann, B., Jørgensen, C., Ledgaard, K., Friis Møller, H-M., Poulsen, M-B. B., Schmidt, M., Tarp-Johansen, L., Vigsø, S., & Zambrano, K. (2013).

Sekundavand i Nordhavn: En forundersøgelse til strategi for alternativ vandleverance. DTU Miljø, Institut for Vand og Miljøteknologi, Danmarks Tekniske Universitet.

General rights

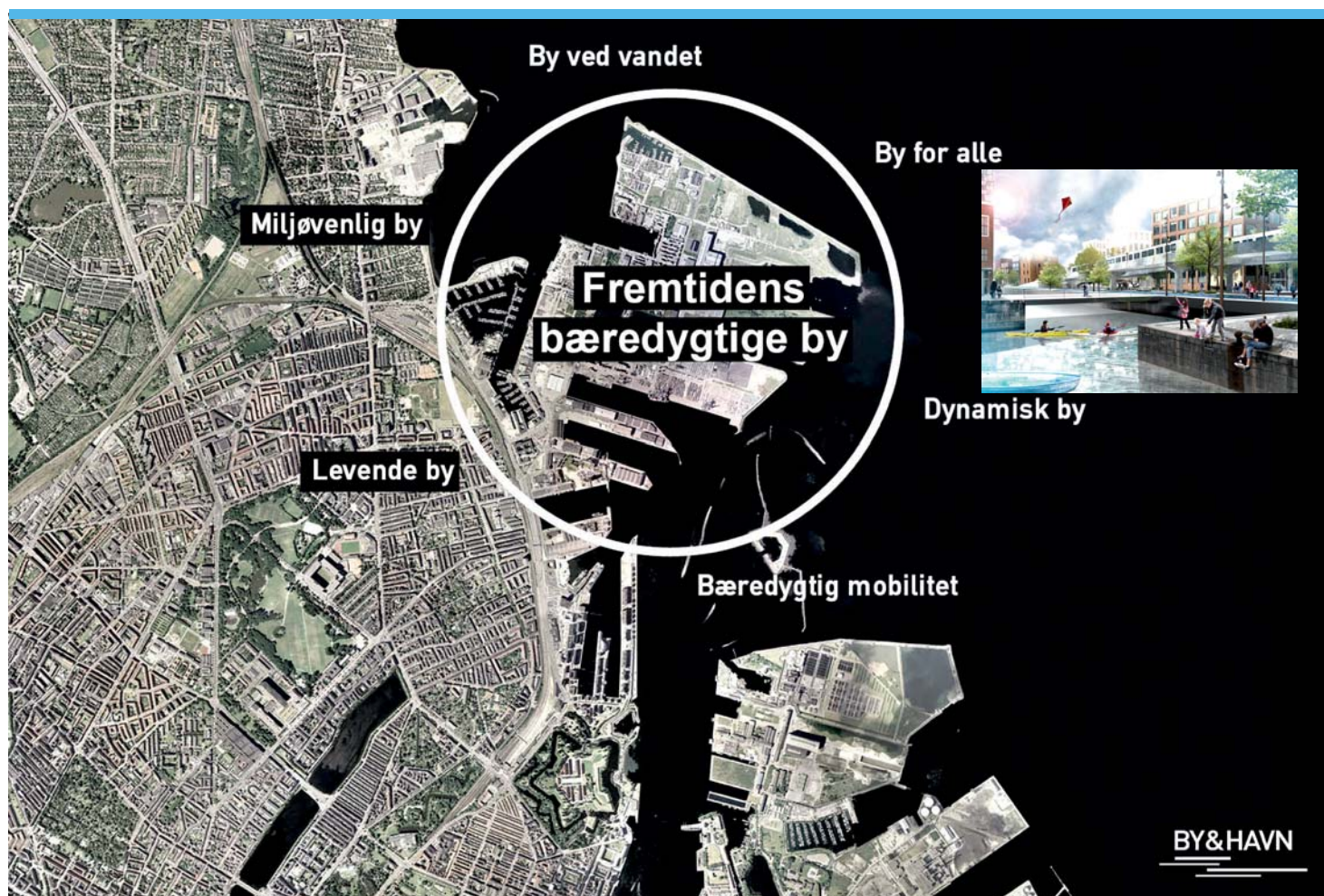
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Sekundavand i Nordhavn

En forundersøgelse til strategi for alternativ vandleverance



Martin Rygaard (DTU Miljø)
 Lene Alsbjørn (Aalborg Universitet København)
 Morten Ejning (Københavns Kommune)
 Berit Godskesen (DTU Miljø)
 René Hansen (Naturstyrelsen)

Birgitte Hoffmann (Aalborg Universitet København)
 Claus Jørgensen (DHI)
 Kirsten Ledgaard (By og Havn)
 Hans-Martin Friis Møller (Grontmij)
 Maj-Britt B. Poulsen (HOFOR)

Mikas Schmidt (Grontmij)
 Lise Tarp-Johansen (HOFOR)
 Søren Vigsø (Grundfos)
 Kim Zambrano (HOFOR)

DTU Miljø, 2013

DTU Miljø
 Institut for Vand og Miljøteknologi



AALBORG UNIVERSITET

BY&HAVN



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen



KØBENHAVNS KOMMUNE



Sekundavand i Nordhavn

En forundersøgelse til strategi for alternativ vandleverance

Martin Rygaard (DTU Miljø), Lene Alsbjørn (Aalborg Universitet København), Morten Ejsing (Københavns Kommune), Berit Godskesen (DTU Miljø), René Hansen (Naturstyrelsen), Birgitte Hoffmann (Aalborg Universitet København), Claus Jørgensen (DHI), Kirsten Ledgaard (By og Havn) Hans-Martin Friis Møller (Grontmij), Maj-Britt B. Poulsen (HOFOR), Mikas Schmidt (Grontmij), Lise Tarp-Johansen (HOFOR), Søren Vigsø (Grundfos), Kim Zambrano (HOFOR)

2013

Sekundavand i Nordhavn

En forundersøgelse til strategi for alternativ vandleverance

2013

Af

Martin Rygaard (DTU Miljø), Lene Alsbjørn (Aalborg Universitet København), Morten Ejsing (Københavns Kommune), Berit Godskesen (DTU Miljø), René Hansen (Naturstyrelsen), Birgitte Hoffmann (Aalborg Universitet København), Claus Jørgensen (DHI), Kirsten Ledgaard (By og Havn) Hans-Martin Friis Møller (Grontmij), Maj-Britt B. Poulsen (HOFOR), Mikas Schmidt (Grontmij), Lise Tarp-Johansen (HOFOR), Søren Vigsø (Grundfos), Kim Zambrano (HOFOR)

Copyright: Hel eller delvis gengivelse af denne publikation er tilladt med kildeangivelse

Forsidefoto: By og Havn

Udgivet af: Institut for Vand og Miljøteknologi, Miljøvej, Bygning 113, 2800 Kgs. Lyngby

Rekvireres: dtic.dtu.dk

Forord

Dette er afrapporteringen for projekt B: Sekundavand i delprojekt IP12 Nordhavn – en bydel i vandbalance under Vand I Byer. Projektet er et innovationsprojekt, der bidrager til Vand I Byers overordnede formål, at: *”bidrage til at realisere visionen om Danmark som klimarobust grønt foregangsland og etablere Danmark som det globale demonstratorium for bæredygtige vandteknologier, systemløsninger og integreret vandressourceforvaltning.”*

Projektet blev igangsat af Vandpartnerskab Nordhavn, der er en udløber af netværket Vand i Byer, der samlede en række aktører med interesse for udviklingen af vandinfrastruktur i Københavns Nordhavn. Vandpartnerskabet skitserede i samarbejde med DTU Miljø og Aalborg Universitet (daværende DTU Management) et projekt, der kunne afklare mulighederne og udfordringerne ved etablering af et sekundært vandforsyningssystem i Nordhavn.

Projektet opnåede støtte fra Vand i Byer og samlede derved 9 aktører med stor interesse for emnet og udviklingen i Nordhavn. Ud over at afklare perspektiverne for sekundavandsanvendelse i Nordhavn har projektet skabt en alliance mellem projektdeltagerne som forhåbentligt kan videreudvikle danske muligheder på sekundavandsområdet. De 9 aktører er:

By og Havn	HOFOR – Hovedstadsområdets Forsyningselskab
DHI	Københavns Kommune
DTU Miljø	Naturstyrelsen
Grontmij	Aalborg Universitet
Grundfos	

I rapporten samles analyse og vurdering af sekundavandskoncepterne. Rapporten er baseret på en række delvist selvstændige delprojekter, der derfor er afrapporteret i separate kapitler. Følgende aktører har været hovedansvarlige for delprojekterne:

Projektdel	Hovedforfatter, øvrige bidragydere
Redaktion	DTU Miljø , alle
1. Konceptbeskrivelser	HOFOR , Grontmij, Grundfos, DTU Miljø
2. Økonomi og finansieringsmodeller	HOFOR , Grontmij
3. Lovgivning	Københavns Kommune , Naturstyrelsen
4. Sundhedsrisici	DHI
5. Livscyklusanalyse	DTU Miljø , HOFOR
6. Kunde/borger accept	Aalborg Universitet , HOFOR
7. Skalering	DTU Miljø

Der skal lyde en stor tak til alle, der har kommenteret og givet gode råd til arbejdet undervejs, især Karsten Arnbjerg-Nielsen og Hans-Jørgen Albrechtsen, begge fra DTU Miljø. Også en stor tak til Dorthe von Bülow, HOFOR, der har bidraget til tilrettelæggelsen af borger/kundeundersøgelsen.

Kgs. Lyngby, 2013
Martin Rygaard

Indhold

Ordliste	7
Resumé	8
1. Indledning.....	10
1.1 En bæredygtig vandindvinding.....	10
1.2 Sekundavands rolle.....	11
1.3 Visioner for at arbejde med sekundavand i en dansk sammenhæng.....	12
1.4 Projektformål	13
1.5 Rapportens opbygning	14
Del 1: Koncepter for sekundavandsanvendelse i Nordhavn	15
2. Lokaliteten Nordhavn - en ny bydel i København	15
2.1 Forudsætninger og dimensioneringsgrundlag for koncepterne	16
3. Koncepter for sekundavandsforsyning i Nordhavn	18
3.1 Opstilling af koncepterne.....	18
4. Lovgivning	23
4.1 Nuværende lovgivning.....	23
4.2 Kommunens nuværende anvendelse af sekundavand efter gældende lovgivningen	23
4.3 De fire koncepter og den nuværende lovgivning	24
4.4 Fremtidig lovgivning og løsninger	24
4.5 Sammenfatning og konklusion	24
5. Omkostninger og finansieringsmodel.....	26
5.1 Baggrund og forudsætninger for beregning af omkostninger	26
5.2 Omkostninger	27
5.3 Finansieringsmodeller	28
6. Sundhedsrisici	33
6.1 Sundhedsrisici – kvantitativ mikrobiel risikovurdering.....	33
7. Livscyklusvurdering inklusiv vurdering af ferskvandspåvirkning	37
8. Borger/kunde undersøgelse	43
9. Skalering og perspektiver for at overføre konceptideerne til andre byområder.....	45
9.1 Selvforsyningsgrad.....	45
9.2 Synergi og udfordringer med lokale geografiske forhold	45
9.3 Nybyggeri versus renovering	47
9.4 Integration med byens ressourcekredsløb	47
9.5 Skalering af produktionskapacitet	47

10.	Diskussion og vurdering af koncepterne	48
10.1	Evaluerings af koncepterne (detaljeret)	48
10.2	Evaluerings af koncepterne (forenklet)	50
10.3	Anbefalinger	50
11.	Konklusion.....	52
	Referencer (Kapitel 1-11).....	53
	Del 2: Uddybet analyse af koncepterne	55
12.	Konceptbeskrivelser.....	55
12.1	Business-as-usual koncept	55
12.2	Koncept 1: Forsyning med grundvand af ikke-drikkevandskvalitet, indvundet i København	56
12.3	Koncept 2: Afsaltning af havvand til sekundavand.	58
12.4	Koncept 3: Afsaltning af havvand til drikkevandsforsyning	61
12.5	Koncept 4: Gråvandsgenindvinding kombineret med regnvandsopsamling	62
13.	Sundhedsrisici.....	72
13.1	Fareidentifikation og skadelige hændelser	73
13.2	Eksponering	76
13.3	Dosis/respons relation	77
13.4	Risikokarakterisering.....	79
14.	Livscyklusvurdering (LCA)	89
14.1	Introduktion	89
14.2	Den anvendte LCA-metode	94
14.3	Resultater	98
14.4	Konklusioner	104
14.5	Referencer	105
15.	Borger/kundeperspektiver	106
15.1	Nye perspektiver og praksisser i vandforsyningen	106
15.2	Undersøgelssdesign – fokus på omstilling	107
15.3	Uddybning af metode - interview og workshops	108
15.4	Om tolkning af resultater	110
15.5	Borgerne/er positive overfor brugen af sekundavand i boligen	111
15.6	Erfaringer med sekundavand i boligen	112
15.7	Miljø- og ressourc perspektiver	113
15.8	Oversvømmelse og byudvikling	115
15.9	Økonomiske aspekter	116
15.10	Tillid og sikkerhed	117
15.11	Adgang til viden.....	118
15.12	Synlighed og historiefortælling	118
15.13	Det rene vand.....	119
15.14	Drift og komfort.....	120

15.15 Design i boligen.....	121
15.16 Implementeringsprocessen	121
15.17 Pointer fra workshop med nøglepersoner	122
15.18 Opsamling	123
15.19 Referencer.....	124
 Bilag A Arealplan Sundmolen og Trælstholmen	 125
Bilag B Vandforbrug sæsonvariation København	126

Ordliste

Drikkevand	Vand, der overholder de gældende lovkrav til drikkevand, både kemisk og bakteriologisk
Distributionsledning	Vandledning, der ligger i offentlig vej/areal eller i privat fællesvej, hvorfra der forsynes flere enkelttagere
Bygherre	Den part, der udstykker og sælger matrikler i området (By & Havn)
Central forsyning	Anlæggene og ledningerne ejes, drives og vedligeholdes af en almen vandforsyning (HOFOR)
Decentral forsyning	Anlæggene og ledningerne ejes, drives og vedligeholdes af privat aktør (HOFOR, Grundfos el.lign.)
Ejer	Den part, der køber byggeret fra Bygherren
Forsyningen	Den almene vandforsyning i området (HOFOR)
Jordledning	Vandledning, der ligger i udstykket matrikel og hvorfra der kun forsynes én aftager
Sekundavand	Vand af anden kvalitet end drikkevand, der kan erstatte brugen af drikkevand eller på anden vis kompensere for anvendelsen af drikkevand.
Vandbehandlingsanlæg	Anlæg, hvor vandet behandles til ønsket kvalitet. Det kan f.eks. være filtre og iltningsanlæg, afsaltningsanlæg mm.
Vandindvindingsanlæg	Anlæg, der bruges til at indvinde vand fra en given ressource (havvand, grundvand, gråtvand). Det kan eksempelvis være borer til grundvand eller åbne indtag til havvand.
Vand til husholdning	Vand til husholdningsbrug omfatter alt vand i husholdningen dvs. til konsum og madlavning, personlig hygiejne, toiletskyl, tøjvask mm.

Resumé

Nordhavn i København vil over de kommende årtier udvikles fra at være et område præget af havneindustri til et nyt byområde, hvor der ventes 40.000 indbyggere og 40.000 arbejdspladser. Udbygningen vil kræve udvidelser af den eksisterende Københavnske vandinfrastruktur og samtidigt er der ønske om at Nordhavnen bliver miljømæssigt, økonomisk og socialt bæredygtigt. Vi har opstillet fire koncepter for vandforsyning i Nordhavn som alternativer til et business-as-usual-koncept. Business-as-usual-konceptet er en udvidelse af den traditionelle grundvandsbaserede drikkevandsforsyning. Koncept 1 er en sekundavandsforsyning hvor simpelt behandlet let forurenset grundvand bruges til tøjvask og toiletskyl. Koncept 2 er afsaltet brakvand leveret som sekundavand til alt andet end drikkevand i Nordhavn. Koncept 3 er afsaltet brakvand leveret som drikkevand til Nordhavn og Koncept 4 er et decentralt system hvor opsamlet regnvand og gråt spildevand renses lokalt og benyttes som sekundavandsforsyning i husholdningen. Koncepterne er blandt andet vurderet i forhold til lovgivning, økonomi, finansieringsmuligheder, miljøpåvirkning (LCA), mikrobiel risikovurdering og borger/kundeperspektiver. Koncepterne er vist at have forskellige potentialer og udfordringer, og der er ikke et koncept, der skiller sig ud som værende entydigt det bedste eller dårligste valg i forhold til business-as-usual-konceptet (se figur).



Sammenfatning af vurderingen af de foreslåede 4 koncepter. Vurderingen er kvalitativ og i forhold til K0 Business-as-usual som er en udvidelse af det nuværende grundvandsbaserede enstrengede drikkevandssystem.

I den fremtidige udarbejdelse af en strategi for vandforvaltning i Nordhavn, vil en evaluering af koncepterne yderligere kunne skærpes såfremt rammerne for vandforvaltningen lægges fast. Derfor råder vi beslutningstagerne til at forholde sig til denne rapportes vurdering af de fire koncepter under deres egen overvejelse af nedenstående spørgsmål:

1. Er der et konkret ønske om at supplere den grundvandsbaserede vandindvinding i og omkring hovedstadsområdet med en alternativ ressource?
2. Skal vandforsyningen i Nordhavn fungere som et demonstrationsprojekt for nye teknologier?

3. Er en øget vandselvforsyningsgrad i Nordhavn et mål i sig selv (en bydel i vandbalance)?
4. Skal vandforsyningen inddrage borgerne aktivt og bidrage direkte til læring, identitetskabelse og empowerment?
5. Er der andre alternative koncepter, der bør overvejes?
6. Hvem skal betale, hvis der indføres en alternativ vandforsyning i Nordhavn?

1. Indledning

Denne rapport afrapperer arbejdet med at beskrive en række foreslåede koncepter for alternativ vandhåndtering i Københavns Nordhavn og vurdere bæredygtigheden af at implementere dem i den kommende udbygning af det tidligere havneområde.

1.1 En bæredygtig vandindvinding

I både Danmark og udlandet er der stigende fokus på, at vandindvindingen skal være "bæredygtig". Definitionen af bæredygtighed er under konstant udvikling, men er her forstået som et ønske om at minimere en negativ påvirkning af omgivelserne i tre dimensioner: socialt, økonomisk og miljømæssigt. Således vil socialbæredygtighed blandt andet betyde at folk accepterer og måske ligefrem får en bedre livskvalitet af en given aktivitet. Økonomisk bæredygtighed er her fortolket som de samlede direkte omkostninger en given aktivitet medfører samfundets parter. Den miljømæssige bæredygtighed, går her på risikoen for folks sundhed, samt ressourceforbrug og aktivitetens påvirkning af det omgivende miljø. Særligt for vandkredsløbet i byer, medfører ønsket om bæredygtighed, at muligheder for at undgå import af vand og dermed reducere belastning af omkringliggende områders vandressourcer. Udviklingen drives af flere faktorer, herunder mangel på drikkevandsressourcer, øget allokering af vand til naturen, begrænsede muligheder for udvidelse af vandinfrastruktur og nye krav til forsyningssikkerhed og vandkvalitet (Rygaard et al., 2009b). Vandforbruget er ofte en væsentlig parameter når produkter og systemers bæredygtighed evalueres. Der er fx en stigende bevidsthed i virksomheder om at reducere sit "water footprint" i forbindelse med produktion mv. Det gælder også en række danske virksomheder, der arbejder målrettet med at reducere deres vandforbrug, dels ved genanvendelse af vandet dels, ved optimering af virksomhedens processer (Albrechtsen et al., 2012).

Et stort fokus på bæredygtighed og erkendelsen af de menneskeskabte klimaforandringer har medført at forvaltningen af vandkredsløbet ikke længere blot er et spørgsmål om vandkvalitet og -kvantitet, men skal ses i et mere holistisk perspektiv, der inkluderer klimatilpasning, energiforbrug, miljøpåvirkninger, øvrigt ressourceforbrug samt kundernes behov og oplevelse af kvalitet. For København har CO₂-reduktion særlig betydning fordi kommunen ønsker at være CO₂-neutral i 2025. For virksomheder har de nævnte parametre betydning, fordi de ofte indgår som en del af deres CSR (*Corporate Social Responsibility*; *da: Samfundsansvar*) aktiviteter.

En holistisk bæredygtighedsbetragtning betyder også at det må overvejes hvordan vandhåndteringen indgår i sammenhæng med borger/kunderne ønsker og eventuelle involvering i valg og drift af systemet. I vandbranchen er der blandt andet hos HOFOR udtrykt ønske om en stigende borger/kunde-involvering. Dette kan medføre at borgerne/brugerne i stigende grad vil blive set som en ressource i både design, implementering og drift af offentlige/kollektive løsninger. Samtidigt har de seneste års selskabsøgørelse af forsyningsvirksomheder medført en bevægelse mod at betragte borgerne som kunder. Forsyningsens grundlæggende værdier har stadig baggrund i de tekniske og hygiejniske krav og samfundets behov, men suppleres nu med værdier, der har baggrund i kundernes oplevelser med/af forsyningen.

København repræsenterer på flere måder problemstillingen skitseret ovenfor. Grundvandsressourcen i Danmark og særligt på Sjælland er under stigende pres pga. øget urbanisering og forurening (Miljøstyrelsen, 2012). Fremover forventes implementeringen af EU's Vandrammedirektiv og deraf følgende øget fokus på minimumsvandføringer i de danske vandløb, at lægge et yderligere pres på den tilgængelige grundvandsressource på Sjælland.

Drikkevandsforsyningen til København er som i resten af landet baseret på indvinding af rent grundvand, men Københavns vandforsyning skiller sig ud fra resten af landets større forsyninger, da alt vand indvindes fra grundvandsmagasiner, der administreres af omegnskommuner. Derfor er københavnernes vandforsyning baseret på politisk velvilje i omegnskommunerne, der skal myndighedsbehandle hydrologiske undersøgelser, forestå høringsprocedurer og godkende anlæg. Sammen med presset på grundvandsressourcen fra både vandforsyning og naturforvaltere fører importen af vand til langvarige processer for indvindingstilladelser. Usikkerhed og årelang sagsbehandlingstid for indvindingstilladelser vanskeliggør en langsigtet planlægning af forsyningsstrukturen og skaber usikkerhed omkring forsyningens investeringer.

Udfordringerne skaber behov for udvikle teknologier, der øger de tekniske muligheder for en sikker og bæredygtig vandforsyning og for at skabe viden, der kan anvendes i planlægningen af den fremtidige strategi for Københavns vandforsyning, både ved anvendelse af eksisterende teknologier og ved anvendelse af forventede nye teknologier.

1.2 Sekundavands rolle

Der skal etableres en ny bydel i Nordhavn, København, hvilket er en håndgribelig udfordring i forhold til videreudviklingen af Københavns forsyningsstruktur. I dette projekt tages udgangspunkt i den konkrete problemstilling, at der skal etableres en ny forsyningsstruktur for den kommende udbygning af Nordhavn. Traditionelt vil man forsyne Nordhavn med rent grundvand, der er hentet fra de omgivende kommuner. En alternativ vandforsyningstruktur etableret i Nordhavn kan have tre væsentligt forskellige formål: 1) Det kan reducere behovet for import af rent drikkevand til Københavnerne, 2) det er muligheden for at demonstrere og implementere nye vandforsyningsteknologier på dansk grund og/eller 3) det er en mulighed for at etablere Nordhavn som et fokusområde der skaber både identitet og viden om det urbane vandkredsløb.

Udnyttelse af sekundavand, det vil sige vand af anden kvalitet end drikkevand (Rygaard and Albrechtsen, 2013), er i mange lande en forudsætning for at kunne levere en stabil vandforsyning. Globalt set hentes hovedparten af drikkevandsressourcen fra overfladevand, dvs. primært søer og floder, og en voksende andel er afsaltet havvand. Ofte er flere vandressourcer i anvendelse i den enkelte bys vandforsyning og det viser hvordan at forskellige vandkvaliteter alle kan betragtes som en ressource. Et af de mest kendte eksempler er Singapore, hvor vandforsyningen baserer sig på fire forskellige vandressourcer (Rygaard et al., 2009b): overfladevand importeret fra Malaysia, overfladevand fra Singapores eget opland, afsaltning af havvand og recirkuleret spildevand. Recirkuleret spildevand, kaldet "NEWater", renses til drikkevandskvalitet og leveres dels på flaske som drikkevand og dels leveres det som et sekundær vandforsyning i separat rørsystem til øens mange industrivirksomheder, der efterspørger store mængder vand af høj kvalitet. I dag dækkes ca. 30% af Singapores vandforbrug af NEWater og det ventes at NEWater i år 2060 dækker halvdelen af østat

vandforbrug. Et andet eksempel på en sekundær vandforsyning findes i Hong Kong, hvor havvand udnyttes til toiletskyl for 80% af regionens 7 millioner indbyggere og dermed reducerer behovet for drikkevand med 750.000 m³ per dag (Leung et al., 2012).

Mens der altså nemt kan findes eksempler på udbredt anvendelse af sekundavand eller "dual reticulation/distribution" systemer i udenlandske byområder, er erfaringerne hermed færre og mere begrænsede i Danmark. Her til lands begrænser sekundavandsanvendelsen til særlige procesanvendelser i virksomheder eller opsamling af regnvand fra tage med anvendelse til havevanding, toiletter og tøjvask. Den altdominerende vandforsyning i danske byer er fortsat baseret på rent grundvand. Rapporten her kommer dog parallelt med en rapport, der beskriver en række termer og muligheder for klassifikation af sekundvand (Rygaard and Albrechtsen, 2013), og Naturstyrelsen forventes at udgive en redegørelse om sekundavand i Danmark i løbet af 2013. Rapporterne vidner om en voksende interesse for sekundvand fra danske myndigheder, leverandører og vidensinstitutioner.

1.3 Visioner for at arbejde med sekundavand i en dansk sammenhæng

Dette projekt under Vand I Byer har samlet ni meget forskellige parter omkring undersøgelsen af potentialet for en sekundavandsforsyning i Nordhavn. Udover at sekundavand kan være en løsning på en konkret problemstilling i Nordhavn, er projektet også et resultat af parterne individuelle ønsker for at arbejde med sekundavand lokalt, såvel som inspiration for globale perspektiver. I det følgende sammenfattes parternes visioner for sekundavandsanvendelser og dermed deres motivation for at bidrage til projektet.

Som det fremgår af nedenstående visioner, har parterne væsentligt forskellige motiver for at arbejde med med koncepter for sekundavandsanvendelse i Nordhavn.

1.3.1 Myndighederne

Københavns Kommune har besluttet at anvende Nordhavnsområdet som et udstillingsvindue for bæredygtige løsninger indenfor energi, klima og vand. Københavns Kommune ønsker med deltagelse i dette projekt, at undersøge muligheden for at bevare den grundvandsbaserede drikkevandsressource ved at anvende vand af sekundær kvalitet til formål, der ikke kræver drikkevandskvalitet. Dette ønske er i tråd med kommunens generelle planer for byens vandforvaltning, hvor der i forslaget til Kommunal Vandhandleplan 2012 er formuleret et ønske om: "*Anvendelse af grundvand der kan reducere behovet for import af drikkevand søges fremmet*" af hensyn til vandkredsløbet i HOFOR's indvindingsoplande (COWI, 2012). Derudover er det formuleret i samme plan at grundvandsressourcen inddrages i initiativer, der kan understøtte grøn vækst, samt at indsatsen for at bevare grundvandsressourcen forankres hos borgere og virksomheder i kommunen.

Københavns Kommune har i Vandforsyningsplan 2012 som målsætning at 4 % af det samlede vandforbrug skal være erstattet af brug af sekundavand i 2017. Dette mål kan for eksempel nås, hvis det kunne tillades at bruge sekundavand til visse formål i husholdningen, som f.eks. toiletskyl.

1.3.2 Leverandørernes vision

Leverandører, her forstået som producenter, forsyning og tilknyttede rådgivere har flere beavæggrunde for at støtte et projekt om alternativ vandforsyning i Nordhavn. Forsyningen (i dette tilfælde HOFOR) har til opgave at udføre Kommunens visioner for håndtering af vandkredsløbet i byen. Som virksomhed arbejder HOFOR for at skabe en "bæredygtig by", og står for at løse de konkrete udfordringer forbundet med at levere vand til alle byens borgere i et sikkert og økonomisk optimalt system. HOFORs primære interesse i dette projekt er at sikre hovedstadsområdet et videnskabsmæssigt beredskab, og dermed være på forkant med udviklingen i storbyens vandkredsløb.

Producenten og rådgiveren (her Grundfos og Grontmij) ønsker først og fremmest at få viden om mulighederne for alternativ vandforsyning på et dansk hjemmemarked for at være bedre rustet på et internationalt marked, hvor alternativ vandforsyning allerede er udbredt og i hastig udvikling.

Teknologileverandørerne ønsker at have testfaciliteter tæt på forskningsaktiviteterne i Danmark, både for at kunne udvikle teknologier og systemer, men også for at opbygge et miljø omkring udvikling af vandbehandlingssystemer som kombinerer teknologier, brugeroplevelser og anvendelse. Der forventes ikke et hjemmemarked af nævneværdig størrelse (potentiale), men der ses et begyndende marked for brugen af andre vandressurser rundt om på jorden. Et marked der drives af en voksende velstand i Asien og Afrika (ønske om højere kvalitet) og vandmangel i Australien og USA. For at komme ind på disse markeder er der behov for både at kunne vise teknologier der fungerer og kommunikerer "positive" brugeroplevelser, da mange mennesker er skeptiske over for at drikke behandlet vand som ikke købes på flaske.

1.3.3 Vidensinstitutionernes vision

Vidensinstitutionerne (her DTU, AAU og DHI) er optagede af at undersøge og vurdere veje til øget bæredygtighed og udvikling af værktøjer til en holistisk evaluering af vandhåndteringssystemer. Dette projekt giver mulighed for at videreudvikle og afprøve metoder for livscyklusvurdering af vandforsyningssystemer, kvantificering af påvirkningen af grundvandsressourcen, kvantitativ mikrobiel risikovurdering og borger/kunde-undersøgelser. Sammen med de konceptbeskrivelserne og vurdering af økonomien bag systemerne, er der tale om en holistisk evaluering af vandforsyningstilladelser, der vil tjene som eksempel på integreret vandkredsløbsforvaltning.

1.4 Projektformål

Dette projekt har til formål at evaluere potentialet for sekundavandsanvendelse i Nordhavn baseret på en række udvalgte koncepter for sekundavandsanvendelse, herunder at:

1. Beskrive udvalgte koncepter for levering af sekundavand i Nordhavn
2. Beregne økonomi og beskrive mulige finansieringsmodeller for koncepterne
3. Vurdere den mulige implementering af koncepterne under den nuværende lovgivning
4. Vurdere sundhedsrisici med fokus på patogener i forhold til borgernes kontakt med sekundavand.
5. Anvende livscyklusvurdering (LCA) til at opgøre påvirkninger af miljøet for sekundavandskoncepterne i Nordhavnen og udvide standard LCA'en til også at omfatte ferskvandspåvirkningen.

6. Undersøge kundernes/borgernes holdning til sekundavand og rolle i en evt. forsyning med sekundavand.
7. Vurdere de umiddelbare potentialer for at skalere eller overføre koncepterne for sekundavandsbrug til andre steder i Danmark.

Koncepterne er med forsæt ikke et udtryk for forsyningens eller Københavns Kommunes strategier på området. Det har været et væsentligt delmål at koncepterne skulle udfordre de nuværende strategier og være afsøgende i forhold til alternativer til at forsyne på den traditionelle måde, både hvad angår drikkevand og sekundavand. Målet med projektet er at bidrage til grundlaget for en strategi for vandforsyningen i Nordhavnen.

1.5 Rapportens opbygning

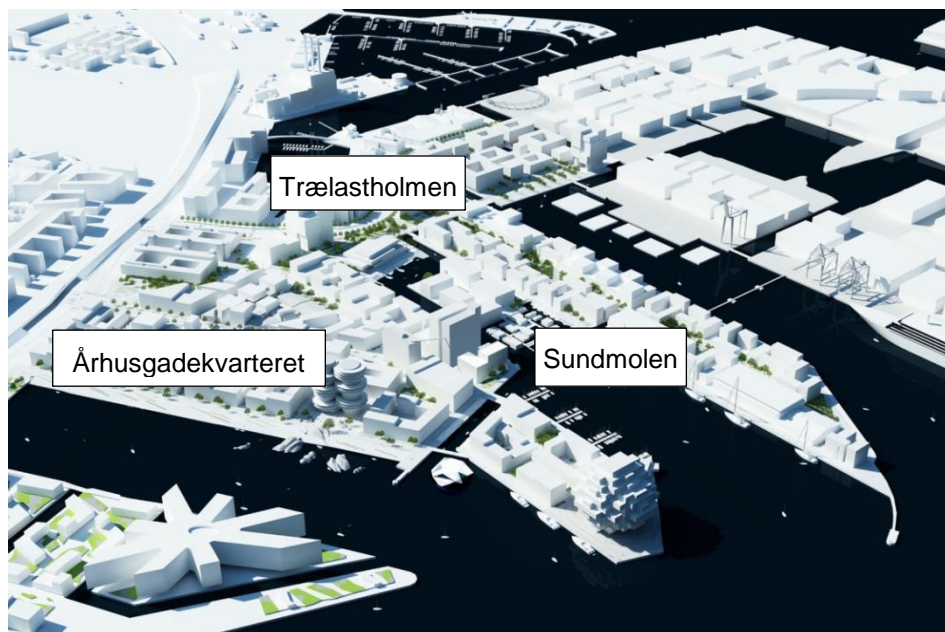
Rapporten er opdelt i to dele. Del 1 beskriver området Nordhavn, opstillingen af koncepterne, herunder dimensioneringsgrundlag og teknisk opbygning og præsenterer resultaterne af analyse og vurdering af koncepterne. Del 2 indeholder kapitler med uddybning af analysemetode og -resultater.

Del 1: Koncepter for sekundavandsanvendelse i Nordhavn

2. Lokaliteten Nordhavn - en ny bydel i København

Nordhavnen er en helt ny bydel i København, der skal udvikles over de kommende 40-50 år. Den vil blive gradvist udbygget med både boliger, erhverv, detailhandel og institutioner, så bydelen vil få ca. 3,5 mio etagemeter byggeri og vil rumme boliger til 40.000 beboere og 40.000 arbejdspladser. Bydelens hovedgreb er en opdeling af området i en række holme, der adskilles fra hinanden via kanaler og bassiner. Holmene fungerer som selvstændige lokale kvarterer, hvilket understøtter en langsigtet udvikling i etaper. Hele bydelen ligger kystnært og bygges dels på ældre opfyldt havneområde dels på nye opfyldninger. Visionen for Nordhavn er bl.a., at bydelen skal være en CO2 venlig by og gerne være et udstillingsvindue for alternative og bæredygtige løsninger på bl.a. vandhåndteringsområdet, herunder klimatilpasning. Desuden ses gerne, at innovative løsninger kan bidrage til eksport af dansk miljøteknologi. Forsyningsstrukturen, herunder vandinfrastrukturen skal udvikles fra bunden, og det er derfor oplagt, at bruge Nordhavn som case i forhold til alternative vandforsyningskoncepter.

Nordhavnen udbygges fra vest mod øst, dvs. at det første område bliver Århusgadekvarteret (Figur 2.1), hvor der blev vedtaget lokalplan i januar 2012. Infrastrukturen for Århusgadekvarteret er fastlagt og arbejdet er gået i gang. Samtidig sker der salg af byggeretter, så de første byggerier forventes indviet i 2014. Århusgadekvarteret forventes udbygget over de næste 10 år.



Figur 2.1. Nordhavn med den igangværende etape Århusgadekvarteret og de to kommende etaper Trælastholmen og Sundmolen.

Der er stor usikkerhed omkring de præcise forhold omkring den fremtidige udbygning af Nordhavnen, derfor benyttes Trælstholmen og Sundmolen i dette projekt som modelområde, da der for de to områder ligger foreløbige planer for udbygningen (figur 1). Bilag A viser de foreløbige planer for området.

2.1 Forudsætninger og dimensioneringsgrundlag for koncepterne

Det nuværende drikkevandsforsyningssystem er grundlæggende sundt og sikkert, kvaliteten er høj og prisen er lav. Der er fokus på vandforbrug til husholdninger og til erhverv i form af kontorbygninger. Industrielt brug af vand er ikke medregnet. Ledningssystem, der leder vand til brandslukning og sprinklersystemer kræver større dimensioner og ringforbindelse eller anden form for backup. Det kunne være en tværforbindelse mellem de to systemer. Der skal i givet fald tages hensyn til ekstra kapacitet på "backupsystemet". Brandslukningssystemet skal til enhver tid fungere.. Det forventes ikke, at der vil være stort vandbehov til brandslukning. Som beredskab i tilfælde af at der ikke kan leveres vand fra de alternative kilder skal der sikres en backupforsyning fra drikkevandsforsyningssystemet eller det bør overvejes om vand fra havnen kan bruges.

I Nordhavn antages det, at alle nybyggede boliger har monteret toiletter med 2+4 liters skyl, og at de ikke har installeret karbad, spa eller lign. Samtidig antages det, at der er monteret individuelle vandmålere, således at der vil være et økonomisk incitament for borgerne i at spare på vandet. Det er et krav i Københavns Kommune, at der etableres individuelle vandmålere i støttet nybyggeri og byfornyelser. Ligeledes forventes det, at der også i erhvervsbyggeri vil være sparetoiletter og nye vandinstallationer.

På denne baggrund forventes vandforbruget for privatpersoner i Nordhavn at blive 90 l/d/person og forbruget i erhvervsbyggeri til 30 l/d/ansat.

Forbruget af sekundavand er estimeret på baggrund af en antaget forbrugsfordeling (Tabel 2.1). Det forudsættes således, at når sekundavand bruges til WC-skyl og tøjvask vil det være et samlet forbrug på 27 l/døgn pr. indbygger, fordelt på 12 liter til tøjvask og 15 liter til WC-skyl. Brandhaner og sprinklersystemer forventes ikke at bruge store vandmængder.

For erhverv er behovet sat til 15 l/døgn pr. arbejdsplads, primært til WC-skyl. Bliver der mod forventning etableret særligt vandforbrugende produktionsvirksomheder, kan det være muligt at udnytte en større mængde sekundavand, men dette er ikke medregnet i forbrugsbehovet.

I alt regnes der med ca. 40.000 nye arbejdspladser og 40.000 nye indbyggere i Nordhavn og det samlede vandforbrug fremgår af Tabel 2.1.

Tabel 2.1. HOFORs antagede fordeling af vandforbruget i hele det udbyggede Nordhavn (dagsforbrug afrundet til hele tal).

Privatforbrug	Procent af daglige forbrug	l/p/dag (totalt 90 l/dag)	Årsforbrug (mio. m ³) 365 dage pr. år.
Bad	46	41	0,60
Toiletskyl	17	15	0,22
Tøjvask	13	12	0,17
Opvask og rengøring	10	9	0,13
Drikke og madlavning	7	6	0,09
Øvrigt	8	7	0,09
Erhverv	Procent af daglige forbrug	l/p/dag (totalt 30 l/dag)	Årsforbrug (mio. m ³) 250 dage pr år
Toiletskyl	50	15	0,15
Andet	50	15	0,15
Sum			1,6

I forhold til dimensionering af et nyt ledningsnet vurderes det, at det er årsvariationen, der har betydning for omkostningerne på det detaljeringsniveau, der arbejdes med i nærværende rapport. Årsvariationen for de sidste år viser, at der kun er et lidt større udsving omkring ugerne 29 – 31, hvor vandforbruget falder (Bilag B).

Der er stor usikkerhed omkring de præcise forhold omkring udbygning af Nordhavnen, derfor regnes der, som tidligere nævnt, på Sundmolen og Trælstholmen (Tabel 2.2).

Tabel 2.2. Antaget fordeling af vandforbruget i Sundmolen og Trælstholmen.

Antal personer/forbrug	Vandforbrug, samlet m ³ /d							Samlet m ³ pr år
	Wc	Bad	Tøjvask	Opvask	Rengø- ring	Drikke mv	Øvrigt	
Privat: 2565	38	105	31	13	10	15	18	
Erhverv: 2200	33	9	0	4	4	11	4	
I alt pr døgn	71	114	31	17	14	26	22	
I alt pr år*	22.120	40.575	11.315	5.745	4.650	8.225	7.570	100.200

*(privat: 365 dage pr. år, erhverv: 250 dage pr. år)

3. Koncepter for sekundavandsforsyning i Nordhavn

3.1 Opstilling af koncepterne

Opstillingen af koncepterne er udført i flere omgange med deltagelse af projektets parter. Det har været ønsket at koncepterne dels reflekterede nogle af de konkrete overvejelser HOFOR og Københavns Kommune havde på sekundavandsområdet, fx indvinding af grundvand indenfor kommunegrænsen, dels skulle koncepterne tilgodese et ønske om at være innovative løsninger, der bringer ny viden om sekundavandsløsninger i dansk kontekst. Derimod har det ikke været meningen at koncepterne skulle være dækkende for alle mulige sekundavandsløsninger i København. Valget af koncepter har været afgrænset fra at involvere opsamling af regnvand, da fordelene af at afkoble regnvandet fra kloaksystemet allerede forventes opnået ved simpel direkte afledning til havnebassinet. Afledning af regnvand til havnen forudsætter dog en tilladelse fra kommunen, og indebærer muligvis krav om rensning.

På denne baggrund er der taget udgangspunkt i 3 alternative forsyningskoncepter med anvendelse af sekundavand. For at kunne sammenligne med den nuværende forsyningsstruktur er der derudover opstillet et business-as-usual koncept og som en perspektivering er der skitseret et 4. koncept baseret på recirkulering af gråt spildevand. Til sammen dækker de fire koncepter forskellige anvendelser af sekundavand og giver eksempler på alternativ vandforsyning af Nordhavn baseret på både 1- og 2-strengede vandforsyningssystemer (Tabel 3.1).

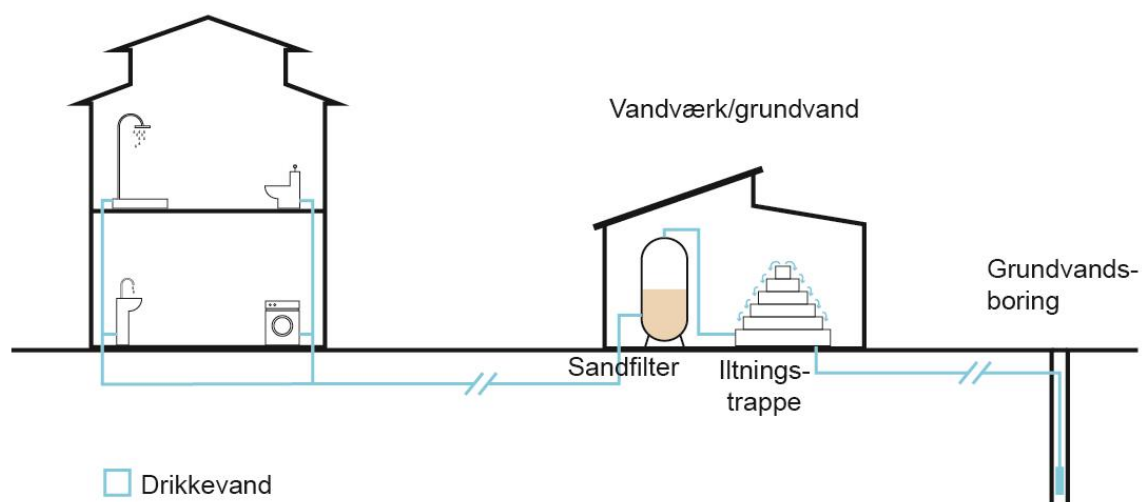
Tabel 3.1. Oversigt over brug af sekundavand og behov for antal ledningssystemer i de fire alternativer til business-as-usual-konceptet.

Koncept	Anvendelse af sekundavand					Lednings-system Antal ledningsnet vandforsyning
	Toilet	Vaskemaskine	Opvask	Drikkevand	Brandhaner og Sprinklærsventiler	
0. Rent grundvand,	+	+	+	+	+	1
1. Forurennet, lokalt grundvand	+	+	?	-	+	2
2. Afsaltet havvand, sekundavand	+	+	+	-	+	2
3. Afsaltet havvand, drikkevand	+	+	+	+	+	1
4. Recirkulering af gråtvand, lokalt	+	+	?	(+)	?	2

3.1.1 Koncept 0: Business-as-usual koncept

Som sammenligningsgrundlag benyttes et business-as-usual koncept, hvor Nordhavnen forsynes med drikkevand, ved at koble området på den eksisterende vandforsyningstruktur i København. Dermed vil området på traditionel vis modtage drikkevand baseret på uforurennet

grundvand i et enstrenget rørsystem (Figur 3.1). Den forventede drikkevandsmængde er 100.200 m³ per år (for Sundmolen og Trælstholmen alene)

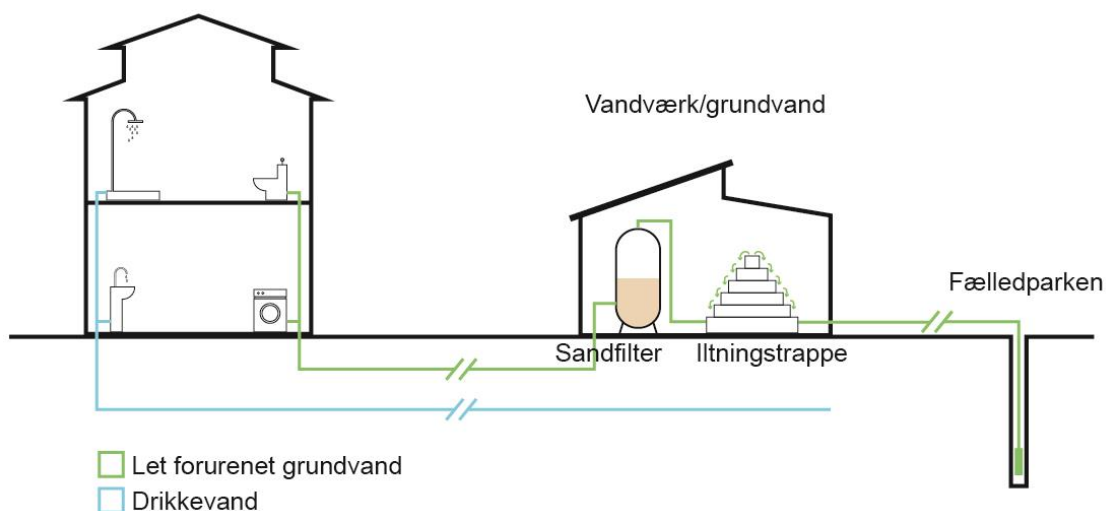


Figur 3.1. Principskitse, normalt en-strengt vandforsyningsystem i Danmark.

3.1.2 Koncept 1: Let forurennet grundvand som sekundavand i dobbelt rørsystem

Der forsynes på traditionel vis drikkevandsformål. Der forsynes med lokalt, let forurennet grundvand til sekundavandsformål i et sekundært forsyningsnet. Baggrunden for udvælgelsen af dette koncept er hovedsageligt kommunens ønske om at udnytte grundvandsressourcen under København samt evt. at kunne slå to fluer med et smæk og bidrage til at modvirke klimaforandringer i form af stigende grundvandsstand. Endvidere vil regnvand kunne bruges rekreativt og lokalt ved at nedsive via en grøft eller regnvandet kan samlet ledes til et infiltrationsanlæg. Grøft og infiltrationsanlæg er ikke medtaget i beregningerne. Fælledparken er indledningsvist udpeget som muligt sted for indvinding af vand til sekundavandsforsyning.

Forventet drikkevandsmængde pr. år ca. 66.200 m³. Forventet sekundavandsmængde for Sundmolen og Trælstholmen ca. 33.000 m³ pr. år til toiletskyl og tøjvask (Tabel 2.2).

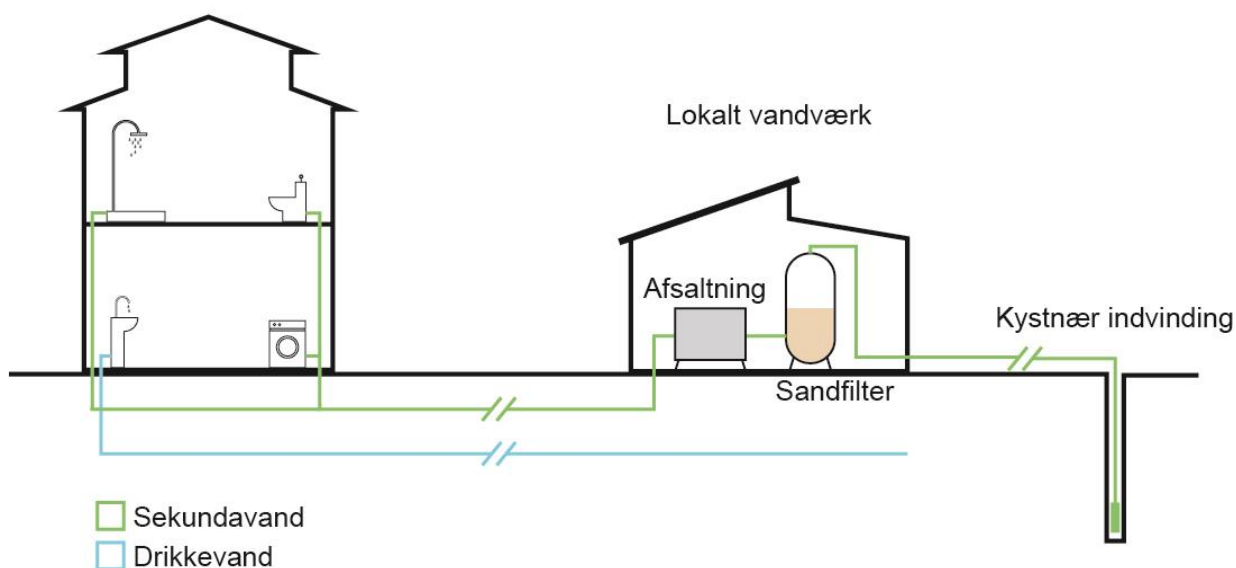


Figur 3.2. Principskitse af let forurenet grundvand leveret i sekundært rørsystem til toiletskyl og tøjvask..

3.1.3 Koncept 2: Afsaltet havvand som sekundavand i dobbelt rørsystem

Der forsynes på traditionel vis med drikkevand til drikkevandsformål. Der forsynes med afsaltet havvand, indvundet lokalt, til sekundavandsformål i et sekundært forsyningsnet. Konceptet bygger på, at havvand er en udtømmelig ressource og ligger tæt på Nordhavnen. Det er en kendt og brugt teknologi, som udvikles i stor hast.

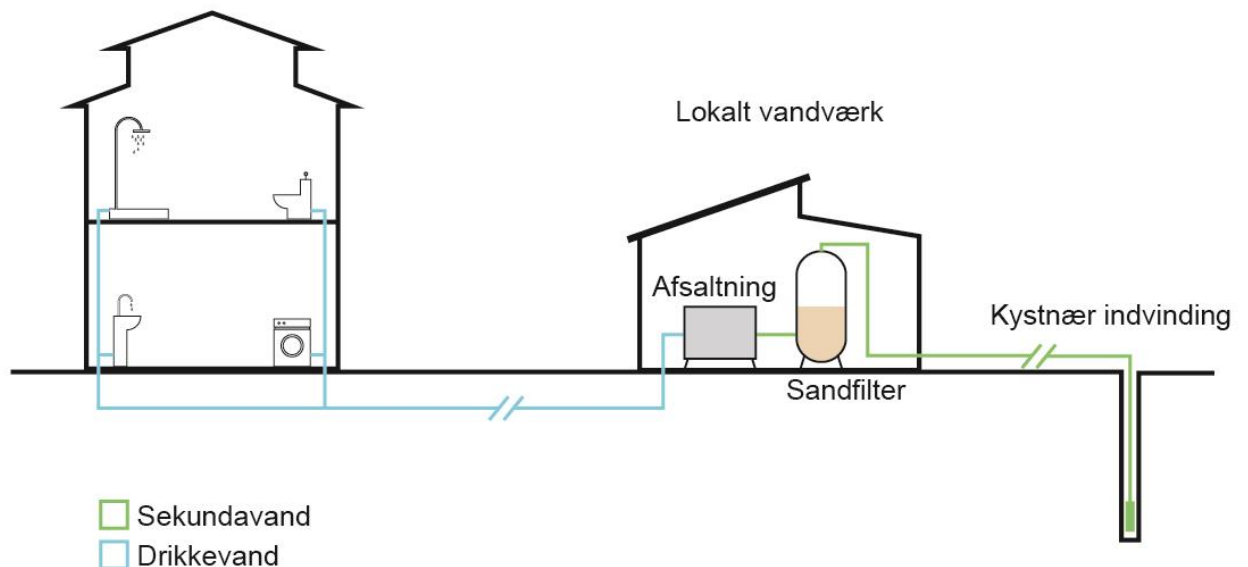
Forventet drikkevandsmængde pr år ca. 8.200 m³. Forventet sekundavandsmængde for Sundmolen og Trælastholmen pr. år er ca. 92.000 m³ til alt andet vand end til drikke og madlavning (Tabel 2.2).



Figur 3.3. Principskitse, forsyning med afsaltet havvand fra kystnær boring som sekundavand til alle formål bortset fra drikkevand.

3.1.4 Koncept 3: Afsaltet havvand som drikkevand i ét rørsystem

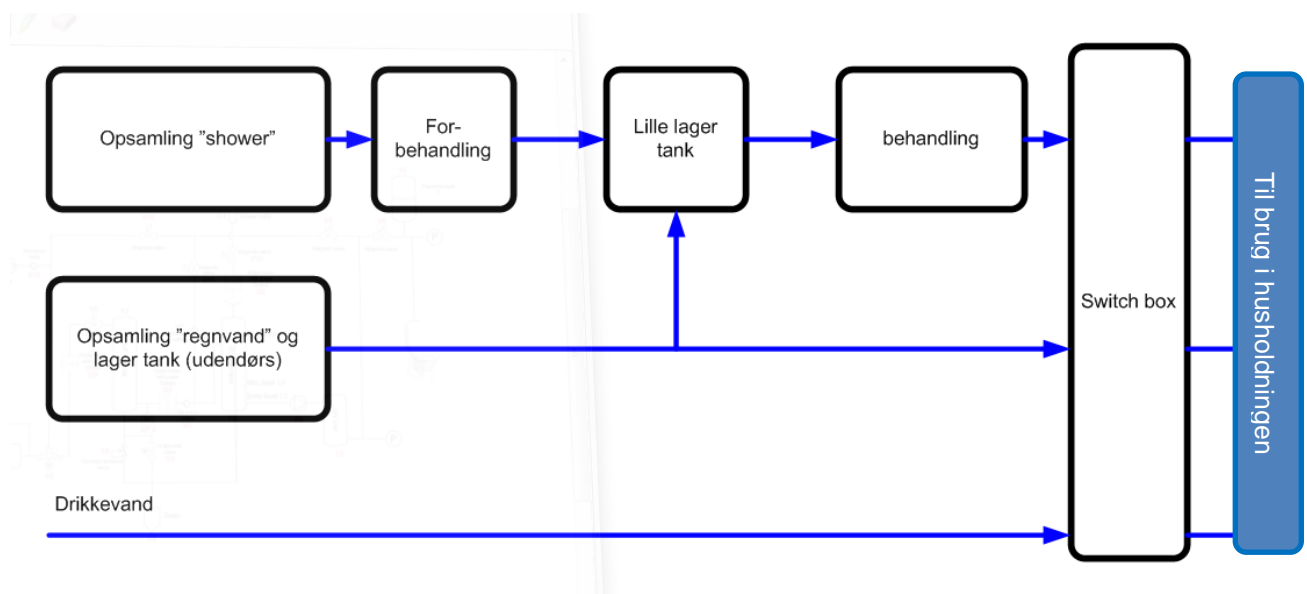
Der forsynes med afsaltet og behandlet havvand til alle formål. Dette koncept omfatter også levering af drikkevand og dermed kun et forsyningsnet. Konceptet bryder med dogmet om kun at bruge rent grundvand til drikkevandsforsyning, men på den anden side giver det økonomisk mening kun at lægge 1 ledningsnet. I forhold til Koncept K2 Afsaltning til sekundavand tilsættes mineraler for at bl.a. sikre en god smag. Den forventede drikkevandsmængde pr. år er 100.200 m³ (Sundmolen og Trælastholmen)



Figur 3.4. Principskitse, afsaltet havvand fra kystnær boring. Vandet leveres som drikkevand.

3.1.5 Koncept 4: Regnvandsopsamling kombineret med recirkuleret gråt spildevand

Der forsynes på traditionel vis med drikkevand til drikkevandsformål. Der forsynes med lokalt, recirkuleret gråtvand til sekundavandsformål i et sekundært forsyningsnet. Konceptet er udvalgt som et eksempel på teknologiudvikling i forhold til eksport og implementering i udlandet. Det repræsenterer også en decentral løsning, som husholdningerne selv kan/skal drifte, eventuelt udliciteret til en leverandør a la varmecentral i større boligforeninger. Konceptet er skitseret i grove træk og den forventede sekundavandsmængde er uafklaret.



Figur 3.5. Principskitse, der viser tre vandressourcers vej til en "switchbox", der intelligently regulerer og fordeler anvendelsen af vand i bygningen.

3.1.6 Opsamling af regnvand på forsyningsbasis i Nordhavnen

HOFOR har vurderet, at omkostningerne ved at opsamle regnvand fra større områder og derefter distribuere det ud til borgene er for omkostningstunge og dermed ikke relevante som et selvstændigt koncept, som det fx kendes fra Stenløse Syd (Rygaard et al., 2009). HOFORs interne oplæg til forsyningsplanen i Nordhavn lægger op til, at alt regnvand skal håndteres lokalt og skal ved gravitation ledes til nærmeste recipient, det vil sige havnen. Så hvis regnvandet skal anvendes til sekundavandsbrug skal der etableres større regnvandsledninger samt etableres større bassiner til opsamling. Opsamling fra alle tagflader kan kun dække ca. 40 % af behovet for vand til toiletskyl og tøjvask, resten skal suppleres med en anden vandressource, f.eks. grundvand (jf. intern KE foranalyse til KE's Forsyningsplan Nordhavn, 2010). Hvis man derimod opsamler fra alle overflader kan de dække hele behovet (jf. intern KE foranalyse til KE's Forsyningsplan Nordhavn, 2010). Med overfladevand inkluderet kan det være nødvendigt at have en rensning af vandet, evt. i form af filtrering og UV-anlæg. Det vil være nødvendigt med særlig overvågning af vandkvaliteten i magasineringstanken, da vandet kommer fra forskellige overflader.

Koncepterne er uddybet i kapitel 12.

4. Lovgivning

Det er i dag ikke muligt at anvende rensat brakvand eller lignende sekundavand til *husholdningsbrug* medmindre man renser vandet til en vandkvalitet svarende til almindelig drikkevandskvalitet. Det kan der være betragtelige energimæssige og økonomiske konsekvenser forbundet med. Det kan desuden være ressourcespild, at rense vand til drikkevandskvalitet for at bruge det til eks. toiletskyl eller havevanding. I dag er det tilladt, at opsamle regnvand fra tage og genbruge vandet til toiletskyl og tøjvask i vaskemaskine og under særlige vilkår, der skal sikre mod forurening af det rene drikkevand. Der er ingen stofmæssige begrænsninger på genanvendelsen, bare det er opsamlet fra tagene.

4.1 Nuværende lovgivning

Grundvand og overfladevand må ikke indvindes uden tilladelse, jf. vandforsyningslovens § 18. Kommunalbestyrelsen kan meddele tilladelse til vandindvinding, jf. vandforsyningslovens § 20. Hvad angår afsaltnings af havvand til drikkevandsforsyningen, kræver dette dispensation fra miljøministeren jf. § 25 i vandforsyningsloven:

§ 25. Indvinding af vand til drikkevandsforsyning gennem afsaltnings af havvand og levering af drikkevand fra udlandet må ikke ske uden tilladelse fra miljøministeren.

Stk. 2. Ministeren kan fastsætte regler om indvinding af havvand til andre formål.

Når det gælder kvalitet af vandet, stiller bekendtgørelsen om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg (§ 3) krav om, at vand til *husholdningsbrug*, skal overholde bekendtgørelsens kvalitetskrav til drikkevand.

§ 3. Vand fra vandforsyningssystemer, der forsyner mennesker med vand til husholdningsbrug, skal overholde de kvalitetskrav, som er angivet i bilag 1a-d.

I Vejledning nr. 9430 af 19/ 09/ 2011 om kommunernes tekniske tilsyn med vandforsyningsanlæg er der givet følgende definition af vand til husholdningsbrug: Vand til husholdningsbrug: Vand til husholdningsbrug omfatter alt vand i husholdningen dvs. til konsum og madlavning, personlig hygiejne, toiletskyl, tøjvask mm.

Som en undtagelse må regnvand opsamlet fra tage gerne anvendes i husholdningen til toiletskyl og tøjvask i vaskemaskine. Der stilles i den forbindelse en række krav til sikring af, at drikkevandet ikke forurenes. Til brug i institutioner og bygninger med offentlig adgang kræves kommunalbestyrelsens tilladelse.

4.2 Kommunens nuværende anvendelse af sekundavand efter gældende lovgivningen

Kommunen har i ganske få tilfælde givet tilladelse til brug af grundvand fra ikke-almen vandindvinding i husholdningen til bl.a. toiletskyl. Fælles for tilladelserne har dog været, at grundvandet har opfyldt drikkevandskvalitetskravene. Der anvendes derudover sekundavand fra primært grundvand til industri som procesvand og køling samt til vanding af træer og planter

i kommunen. Vandet kommer typisk fra eksisterende afværgboringer. Tilladelsen er meddelt efter miljøbeskyttelseslovens § 19 og spildevandsbekendtgørelsens § 34.

Kommunalbestyrelsen kan i en vandindvindingstilladelse efter § 21 i vandforsyningsloven til et alment vandforsyningsanlæg tillade avanceret vandbehandling. Det fremgår af bekendtgørelsen om vandindvinding og vandforsyning, BEK 1451 af 11/12/2007 § 14, stk. 2. I princippet kan forurenede grundvand og andet sekundært vand behandles med avanceret vandbehandling, så det opfylder alle krav til drikkevand, og dermed kan anvendes overalt i husholdningen.

4.3 De fire koncepter og den nuværende lovgivning

I forhold til de fire koncepter, der behandles i denne rapport, er det kun for Koncept 3 Afsaltning til drikkevand, hvor der umiddelbart kan gives tilladelse til brug af vandet i husholdningen ud fra de regler, der gælder i dag. Det er miljøministeren, som skal give tilladelse til dette, jf. § 25 i vandforsyningsloven.

De øvrige foreslåede koncepter forudsætter at der kan dispenseres fra kvalitetskravene for det vand, der skal anvendes til andet end drikkevandsformål i husholdningen.

4.4 Fremtidig lovgivning og løsninger

Hvis sekundært vand (fraset tagvand) skal kunne bruges i husholdningen er det nødvendigt at overveje, om sekundært vand skal renses til drikkevandskvalitet, eller om det kan anvendes til andre formål i husholdningen, hvor der ikke nødvendigvis er behov for de samme sundhedsmæssige eller tekniske krav til vandet. Det er efter de gældende regler ikke muligt at tillade brug af andet sekundært vand end regnvand til toiletskyl og evt. tøjvask (se afsnit 4.1). Det vil kræve en ændring af reglerne i en eller to bekendtgørelser, men formentlig ikke kræve en lovændring.

Naturstyrelsen har sammen med HOFOR og flere andre forsyninger iværksat et arbejde med henblik på at udrede eksisterende udfordringer i forhold til anvendelse af sekundært vand i Danmark. Arbejdet forventes færdigt 2013. En ændring af eksisterende forhold kræver endvidere, at sundhedsstyrelsen ikke vurderer, at sekundært vand udgør en sundhedsfare for mennesker. Tilsvarende forhold skal afklares i forhold til dyr og planter. En eventuel revision af eksisterende regler forventes at tage 6-12 måneder efter beslutningen herom. Der kan efterfølgende være behov for en konkret sagsbehandling af en henvendelse fra Københavns Kommune om brug af sekundært vand i husholdningen, afhængig af den model der vælges ved en eventuel ændring af reglerne.

Udgangspunktet for en lovændring vil være, at etablering og anvendelse af et sekundært vandsanlæg skal udføres og benyttes på en sådan måde, at der ikke opstår fare for forurening af drikkevand eller på anden måde volder ulemper, fx risiko for at mennesker eller dyr drikker sekundært vand.

4.5 Sammenfatning og konklusion

Københavns kommune har et mål om at reducere importen af drikkevand til kommunen ved bl.a. at erstatte 4 % af det samlede vandforbrug med en supplerende vandforsyning, der indvindes inden for kommunens grænser. Denne supplerende vandforsyning kan være opsamlet regnvand, afsaltet havvand, rensede spildevand eller grundvand. Vand, der ikke

opfylder drikkevandskravene, kan ikke bruges til husholdningsbrug, fraset regnvand opsamlet fra tage, der er en undtagelse i lovgivningen. Sekundavand kan anvendes i dag til flere formål, men ikke til husholdningsbrug.

Københavns Kommune ser en værdi i at kunne anvende vand med forskellig kvalitet til forskellige formål i husholdningen. Det kunne f.eks. være lokalt grundvand til toiletskyl.

For at imødekomme dette vil Naturstyrelsen undersøge mulighederne for en revision af de gældende regler

En revision af eksisterende regler forventes at tage 6-12 måneder efter beslutningen herom. Miljøministeren beslutter, om ændringerne skal gennemføres.

Der er i dette notat ikke taget stilling til tidsproces eller løsninger i henhold til takster og afgifter eller skatterelaterede forhold. Tilsvarende er der ikke taget stilling til, hvordan sundhedsstyrelsen eller øvrige lovregulerede myndigheder kan ændre nuværende regler og regulering på deres respektive områder.

5. Omkostninger og finansieringsmodel

I det følgende er der gennemført overslagsmæssige beregninger på omkostningerne forbundet med de forskellige koncepter i form af nutidsværdiberegninger over 50 år og med en rente på 3 %

Herefter er der opstillet forskellige modeller for finansiering, ejerskab og drift.

5.1 Baggrund og forudsætninger for beregning af omkostninger

Beregningerne i de enkelte koncepter kan alene danne baggrund for en intern prioritering mellem de enkelte koncepter – og bør ikke bruges til en sammenligning mellem koncepter og nuværende takster/omkostninger. Det er antaget, at det er billigere at anlægge ledninger og stigstrengene til sekundavand, når der samtidig skal etableres et rentvandssystem (koncepterne 1 og 2). Der er således regnet med en besparelse på 50 % og 33 % for hhv. ledninger og stigstrengene, og besparelsen er allokeret til sekundavandsnettet.

Omkostningerne til produktionsanlæggene (koncepterne 1, 2 og 3) er beregnet for anlæg med kapacitet til på sigt at forsyne hele udbygningen af Nordhavn. Priserne er derefter skaleret ned, og dermed tilpasset de 3 forskellige vandmængder, der er behov for til Sundmolen og Trælsthollen i de 3 koncepter. Dette betyder at anlæggenes størrelse (og dermed pris) isoleret set ikke er realistiske, men nutidsværdien kan sammenlignes koncepterne imellem. Prolemstillingen er særligt relevant for koncept 1, hvor det ikke vurderes realistisk at anlægge et værk i Fælledparken for at producere 35.000 m³ vand.

Der er i koncept 1 (let forurenede grundvand) regnet med etablering af en forsyningsledning mellem Fælledparken og Nordhavn. Udgiften til denne ledning er ligeledes skaleret ned svarende til, at Trælsthollen og Sundmolen betaler den andel, baseret på vandmængde, der vedrører dette afgrænsede område.

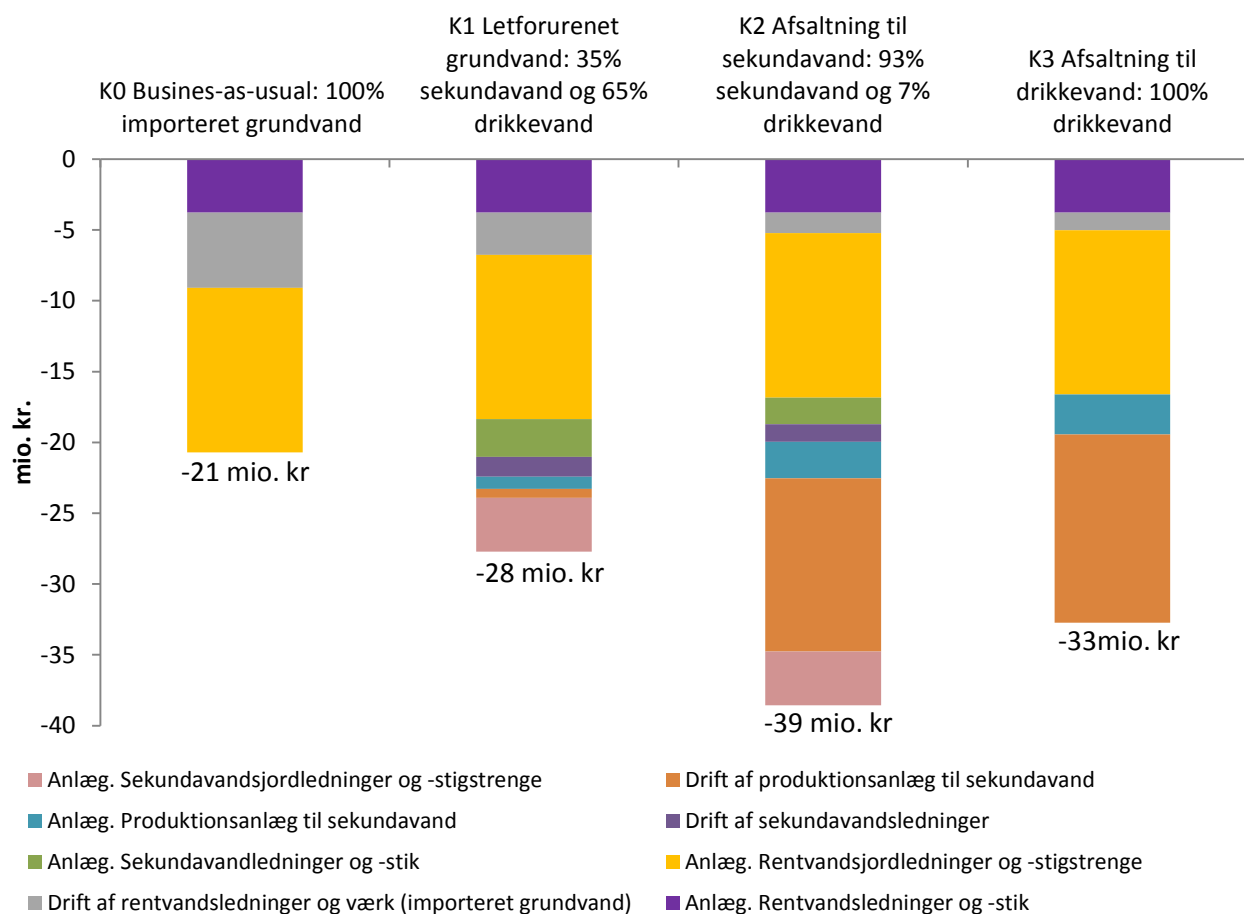
De forskellige vandmængder, og dermed ledningsdimensionsbehov, i koncepterne har ikke givet anledning til at differentiere meterprisen til anlæg af ledninger.

Der er regnet med samme "standarddriftsudgifter" for koncepterne 1, 2 og 3. I koncepterne 2 og 3 (afsaltningsanlæg) er desuden tillagt udgifter til kemikalier og el, da disse udgiftsposter er betragtelige.

Den samlede ekstra vandmængde, Nordhavnsområdet vil forbruge årligt, er forudsat at udligne den reduktion af vandforbruget, der indenfor en årrække forventes i Københavns kommune. De forventede ændringer i den samlede indviding er så små, at der ikke regnes med, at det ændrede aftag i Nordhavn medfører etablering eller sløjfning af værker.

Alle investeringer afskrives over 50 år. Der er regnet med en rente på 3% (faste priser).

5.2 Omkostninger



Figur 5.1. Nutidsværdier for koncepterne med totaler angivet i mio. kr., med forventet levetid på 50 år og 3% rente. Bemærk, at vandmængderne tilknyttet koncepterne er forskellige.

I Koncept 0 Business-as-usual, er der en udgift ved at lægge ledninger til det ny område og senere også til at vedligeholde disse. Nutidsværdien af dette er ca. -21 mio. kr. I koncept 1 kommer der i tillæg til dette udgifter i forbindelse med anlæg og drift af ét ledningsanlæg yderligere samt opførelse af et vandværk i Fælledparken med tilhørende ledningsnet frem til Nordhavnsområdet. Nutidsværdien af dette koncept er ca. -28 mio. kr. I koncept 2 skal der i stedet for et vandværk i Fælledparken etableres et afsaltningsanlæg i Nordhavnen, og der leveres ligesom i koncept 1 vand til forbrugerne i et 2-strengt system. Nutidsværdien for dette koncept er beregnet til -39 mio. kr. Investeringsomkostningerne i koncept 1 og 2 er stort set ens, men den efterfølgende drift af afsaltningsanlægget i koncept 2 er væsentlig dyrere end et traditionelt vandværk grundet udgifter til kemikalier og ekstraomkostninger til el, hvilket gør koncept 2 til den dyreste løsning af de tre beregnede alternativer. I koncept 3 etableres et afsaltningsanlæg, der leverer 100% rent drikkevand, og der er således kun behov for et et-strengt system. Dette koncept har en nutidsværdi på ca. -33 mio. kr.

I forbindelse med vurdering af de forskellige koncepter i forhold til Vandsektorloven og den økonomiske regulering er der, som loven er i dag, incitament til at holde driftsomkostningerne nede. Driftsomkostningerne kan dog ikke sammenlignes på tværs af koncepter, da koncepterne dels indeholder forskellige typer driftsomkostninger (normal vandbehandling henholdsvis

udvidet vandbehandling), dels en forskellig mængde involverede aktiver (bl.a. 1-strengt henholdsvis 2-strengt system), som vil skulle behandles forskelligt i beregningerne af forsyningens prislofter.

Nutidsværdierne af de forskellige koncepter fortæller ikke noget om den endelige kundeoplevede pris for vand som helhed, da vandmængderne, der leveres, er forskellige i de forskellige koncepter. Helt grundlæggende kan man dog konkludere, at en kunde vil opleve en mærkbar forøgelse af den pris, kunden skal betale, som følge af at der etableres en sekundavandsløsning.

5.3 Finansieringsmodeller

5.3.1 Aktører

Finansieringsmodeller er opstillet med udgangspunkt i mulige aktører i forhold til anlægsfinansiering, ejerskab og drift. HOFOR har opstillet 7 mulige modeller for finansiering/ejerskab/drift af sekunda-vandsanlæg med 5 aktører (Tabel 5.1):

- **Københavns Kommune:** I egenskab af mulig betaler.
- **By & Havn:** ejer af Nordhavnen og ansvarlig for udstykning og salg af grunde.
- **Bygherre:** Den virksomhed, der køber de udstykkede grunde og byggemodner på egen grund samt opfører byggeri og evt. sælger videre til "ejer af ejendom" eller lejer ud.
- **Ejer af ejendom:** Den endelige ejer af ejendommen. Det kan være Bygherre, der er den endelige ejer af ejendommen.
- **HOFOR:** Forsyningsselskab.

5.3.2 Forudsætninger

Der er i modellerne ikke vurderet særskilte ændringer omkring håndtering af spildevandet, og det forventes, at der ikke sker reduktion i spildevandstaksten som følge af, at man udnytter sekundavand. Håndtering af regnvand og overfladevand, forventes helt frakoblet spildevandssystemet og tilledes direkte til havnen (der er ikke planlagt en udnyttelse af tagvandet til sekundavandformål).

Indvindings- og behandlingsanlægget antages at være placeret enten i Fælledparken (koncept 1) eller i selve Nordhavnsområdet (koncepterne 2 eller 3).

5.3.3 Fordelingen af udgifter

De udgifter, HOFOR afholder, pålægges ejerne af ejendommene i Nordhavnen eller fordeles solidarisk til alle kunder i København via vandregningen. Det er uklart, hvordan modellen for udgiftdekning beslutes.

De udgifter By og Havn afholder lægges på grundprisen.

De udgifter bygherren afholder lægges på salgsprisen af ejendommen/ejerlejligheden eller på huslejen, såfremt bygherren forbliver ejer af ejendommen.

HOFOR opererer som vandforsyning i et monopol, og det har hidtil været kotume at kunderne ikke forskels-behandles. Hidtil har det ikke haft den store praktiske betydning i forhold til vandkvalitet idet selskabet har leveret drikkevandskvalitet til alle formål. Med etableringen af sekundavand som produkt kan man argumentere for, at der differentieres i vandkvaliteten og/eller hvor stor sikkerhed, man har for, at vandet har en given kvalitet og en følge heraf kunne

være, at prisen skal differentieres. Der er i dag ikke taget højde for den situation, at en almen vandforsyning ønsker at levere to vandkvaliteter via et tostrengt forsyningssystem.

Det kan også argumenteres, at hver enkelt forbruger skal betale den prisægte omkostning for det produkt, der modtages. Dette er mest relevant, såfremt sekundavand er et frivilligt tilvalg, den enkelte enkelte bygherre gør. I praksis kan det dog blive en indviklet argumentation, såfremt produktionen baserer sig på nedsevet regnvand, der kan påvirke mængden af vand i gaderne, noget samfundet generelt vil nyde godt af.

Der kan argumenteres for, at sekundavand bør koste det samme som drikkevand, idet det til brugen er af passende kvalitet og alle forbrugere bør betale solidarisk for en effektiv, bæredygtig og sikker vandforsyning. Dette vil være rimeligt især såfremt sekundavand bliver et påbud i lokalplaner.

Fordelingen af udgifterne skal vurderes nærmere, herunder de juridiske aspekter, inden der kan træffes beslutning om den endelige fordeling af udgifterne

Fra forsyningens synspunkt ville det være ønskeligt, at både sekundavand og drikkevand kvalitetsmæssigt vurderes som værende af "nødvendig og tilstrækkelig" kvalitet i forhold til brugen. Det vil sige, at sekundavand i det perspektiv ikke er af dårligere kvalitet, således at det samlede prisloft også dækker sekundavand. Forsyningen vurderer ud fra fastsatte miljø og servicemål, lovgivning etc. hvilke vandkvaliteter, der er hensigtsmæssige og omkostningerne fordeles solidarisk på, i dette tilfælde, kunder i København.

Vandforbruget af drikkevand og sekundavand afregnes over måler, der ejes af vandforsyningen. Det forudsættes, at der etableres backup til sekundavandsanlæggene fra rentvandssystemet. Det gør, at rentvandssystemet skal dimensioneres til at kunne levere en større mængde vand end vil være tilfældet i daglig drift.

Tabel 5.1. Oversigt over modeller for finansiering, ejerskab og drift af sekundavandsanlæg.

Model Nr.	Finansiering af anlæg					Ejer anlægget					Driver anlægget				
	Produktions-anlæg	Forsynings- ledninger i vej	Stikledninger i vej til skel	Jordledning (privat grund)	Stigstreng	Produktions-anlæg	Forsynings- ledninger i vej	Stikledninger i vej til skel	Jordledning (privat grund)	Stigstreng	Produktions-anlæg	Forsynings- ledninger i vej	Stikledninger i vej til skel	Jordledning (privat grund)	Stigstreng
1	HOFOR	By og Havn	By og Havn	Bygherre	Bygherre	HOFOR	HOFOR	HOFOR	Ejer af ejendom	Ejer af ejendom	HOFOR	HOFOR	HOFOR	Ejer af ejendom	Ejer af ejendom
2	By og Havn	By og Havn	By og Havn	Bygherre	Bygherre	HOFOR	HOFOR	HOFOR	Ejer af ejendom	Ejer af ejendom	HOFOR	HOFOR	HOFOR	Ejer af ejendom	Ejer af ejendom
3	HOFOR	HOFOR	HOFOR	HOFOR	HOFOR	HOFOR	HOFOR	HOFOR	HOFOR	HOFOR	HOFOR	HOFOR	HOFOR	HOFOR	HOFOR
4	HOFOR	HOFOR	HOFOR	HOFOR	Bygherre	HOFOR	HOFOR	HOFOR	HOFOR	Ejer af ejendom	HOFOR	HOFOR	HOFOR	HOFOR	Ejer af ejendom
5	HOFOR	HOFOR	HOFOR	Bygherre	Bygherre	HOFOR	HOFOR	HOFOR	Ejer af ejendom	Ejer af ejendom	HOFOR	HOFOR	HOFOR	Ejer af ejendom	Ejer af ejendom
6	HOFOR	HOFOR	Bygherre	Bygherre	Bygherre	HOFOR	HOFOR	HOFOR	Ejer af ejendom	Ejer af ejendom	HOFOR	HOFOR	HOFOR	Ejer af ejendom	Ejer af ejendom
7	Køben- havns Kom.	Køben- havns Kom.	Køben- havns Kom.	Bygherre	Bygherre	HOFOR	HOFOR	HOFOR	Ejer af ejendom	Ejer af ejendom	HOFOR	HOFOR	HOFOR	Ejer af ejendom	Ejer af ejendom

5.3.4 Kommentarer til modellerne (Tabel 5.1)

- Model 1:** Den model der arbejdes efter i dag i forbindelse med etablering af drikkevandsforsyning til privat byggemodning. HOFOR afholder alle udgifter til etablering og drift af produktionsanlæg (normalt er der dog ikke brug for et nyt produktionsanlæg). By og Havn afholder alle udgifter til forsyning- og stikledninger i vej. HOFOR overtager uden betaling forsynings- og stikledninger i vej og afholder alle driftsudgifter til det overtagne anlæg. Bygherre afholder udgifter til etablering og drift af jordledning og stigstreng.
- Model 2:** Som ovenstående, men By og Havn afholder alle udgifter til produktionsanlæg .
- Model 3:** HOFOR ejer og afholder alle udgifter til etablering og drift af produktionsanlæg, forsynings- og stikledninger i vej samt jordledninger og stigstreng på egen grund. Det er en meget radikal model både praktisk, principielt og lovgivningsmæssigt.
- Model 4:** Som ovenstående, men bygherre afholder udgifter til etablering af stigstreng, der senere overgår til ejerskab og drift af den endelige ejer af ejendommen. Det er en meget radikal model både praktisk, principielt og lovgivningsmæssigt.
- Model 5:** Som ovenstående, men bygherre afholder udgifter til etablering af jordledning og stigstreng, der senere overgår til ejerskab og drift af den endelige ejer af ejendommen. .
- Model 6:** Samme som ovenstående, men Bygherre afholder også udgifter til etablering af stikledning i vej, der overdrages til HOFOR til ejerskab og drift.
- Model 7:** Københavns kommune afholder alle udgifter til etablering af produktionsanlæg samt forsynings- og stikledninger i vej. HOFOR overtager uden vederlag produktionsanlæg, forsynings- og stikledninger i vej og afholder alle driftsudgifter til det overtagne anlæg. Bygherre afholder udgifter til etablering og drift af jordledning og stigstreng.

Drikkevandsforsyning

Den nuværende måde, at håndtere etablering, ejerskab og drift af drikkevandsforsyning på i forbindelse med privat byggemodning er, at alle omkostninger til etablering af forsyningsledninger afholdes af grundejeren (i dette tilfælde By & Havn) og at ledningerne lægges efter vejledning fra forsyningen, der, efter syning og accept af anlæg, overtager ejerskabet og driften af ledningerne vederlagsfrit.

Stikledninger fra forsyningsnettet til de enkelte matrikler etableres af forsyningen efter aftale med bygherren, der betaler for stikledningen. Forsyningen drifter herefter ledninger frem til og med stophanen ind til den enkelte matrikel. Jordledninger på privat grund og stigstreng inde i bygningerne etableres og betales af bygherren.

Ejeren af ejendommen ejer og drifter jordledninger og stigstreng. Der vil ved etablering af sekundavandsystemet være en merudgift til etablering af to-strengt system i bygningen.

Umiddelbart giver det mening at bevare den nuværende ejer/finansieringsmodel, således at der ikke er forskel på principperne for levering af vand af drikkevandskvalitet og vand af ikke-drikkevandskvalitet. Den nuværende ejer/finansieringsmodel kan måske ændres, men det vurderes, at der skal gælde de samme regler for levering af vand af drikkevandskvalitet som levering af ikke-drikkevandskvalitet. Såfremt den nuværende praksis skal ændres, indebærer det væsentlige økonomiske og juridiske konsekvenser for de involverede parter.

6. Sundhedsrisici

Sundhedsrisici og miljøbelastning er to væsentlige kriterier i bedømmelsen af potentialet for indførsel af sekundavandssystemer. Sundhedsrisici er relevante at beskæftige sig med da sekundavandssystemet kan betyde distribution af vand, der ikke egner sig til drikke og madlavning. Det er derfor væsentligt at få kortlagt risikoen for at sekundavand alligevel indtages fx ved fejlkoblinger, eller fordi der er kontakt med vandet fx i forbindelse med tøjvask. Miljøbelastningen er relevant fordi sekundavandssystemerne på en række punkter adskiller sig fra det eksisterende vandforsyningssystem. Indvindingen af vand baserer sig på en anden ressource, der anvendes andre behandlingsteknologier, der kan være energi- og teknologiintensive (afsaltning af havvand) og endelig kan den leverede vandkvalitet adskille sig fra den traditionelle drikkevandskvalitet (fx sikre en mere effektiv udnyttelse af vaskemiddel ved tøjvask).

Risikoen for infektion ved anvendelse af sekundavand kan estimeres ved kvantitativ mikrobiel risikovurdering (QMRA). QMRA er en disciplin, hvor man beregner sandsynligheden for infektion ved indtagelse af en given dosis (= antal patogener). Sandsynligheden for infektion kan herefter sammenlignes med en acceptabel risiko.

QMRA anvendes f.eks. ved fastlæggelse af krav til renseeffektivitet af drikkevand (WHO 2011). QMRA anvendes også til vurdering af risiko for infektion i forbindelse med fødevarer fra jord til bord, med henblik på at kunne sætte ind med foranstaltninger for at reducere risikoen og vurdere effekten af foranstaltningerne (Romero-Barrios et al. 2013).

I Danmark har der tidligere været gennemført mikrobielle risikovurderinger af blandt andet anvendelse af regnvand til rekreative formål (Naturstyrelsen 2011), anvendelse af tagvand til private havebrug (Miljøstyrelsen 2003) og vurdering af anvendelse af lokalt opsamlet fæces i private havebrug (Miljøstyrelsen 2005).

6.1 Sundhedsrisici – kvantitativ mikrobiel risikovurdering

Vurderingen tager udgangspunkt i de koncepter, der er beskrevet i afsnit 0. Koncept 3, Afsaltning af havvand til drikkevandsforsyning er i risikosammenhæng som "business-as-usual" konceptet, idet det antages, at der leveres vand af drikkevandskvalitet. De 3 (4) koncepter, der analyseres, er:

- 0: Business-as-usual
- 1: Forsyning med grundvand af ikke-drikkevandskvalitet, indvundet i København
- 2: Afsaltning af havvand til sekundavand.
- (4: Gråvandsgenindvinding kombineret med regnvandsopsamling. Ikke vurderet)

Det antages, at der etableres et separat distributionssystem til sekundavand. Der anvendes kvantitativ mikrobiel risikovurdering kombineret med Monte Carlo simulering. Ved denne metode antages input parametre (f.eks. dosis) at variere som resultat af statistiske sandsynlighedsfordelinger. Med Monte Carlo simuleringen gentages beregningerne mange gange ved at "plukke" tilfældige værdier af de varierende input parametre. Resultatet bliver hermed også varierende. Metoden står i modsætning til punkt estimator, og har den fordel, at det giver et bedre indtryk af variation og usikkerhed.

Anvendelsen af sekundavand vurderes i forhold til to koncepter: tøjvask og toiletskyl. Denne vurdering angår hypotetiske fremtidige scenarier for anvendelse af sekundavand. Der foreligger derfor ikke analyser af vandets kvalitet, rensningseffektivitet etc. I stedet er risikoen beregnet for hypotetiske vandkvaliteter og sat i forhold til en "acceptabel" risiko. På baggrund heraf af kan det vurderes, om der kan leveres en acceptabel vandkvalitet. Risikoen er vurderet i forhold til 1 organisme, Norovirus. Norovirus er den virus flest bliver syge af mht. maveinfektioner, forekommer hyppigt i drikkevand og kunne være til stede i sekundavand. Dette arbejde omfatter således kun den del af risikoen, der vedrører Norovirus.

Norovirus kan smitte via vand men også mellem personer. I denne analyse er der kun taget stilling til den primære infektion via vand. Sekundære infektioner via fødevarer eller direkte mellem mennesker er ikke medtaget.

Umiddelbart vil man vurdere, at risikoen for infektion ved toiletskyl og tøjvask er meget lille og acceptabel, da det vil være meget lidt vand, man vil kunne komme til at indtage. Der er imidlertid en grænse for, hvor dårlig vandets kvalitet kan være før, risikoen er uacceptabel. Spørgsmålet der undersøges her er, hvor denne grænse går, og om det vand, der leveres, kan overholde denne grænse.

Risikovurderingen er en kvantitativ mikrobiel risikovurdering, altså en vurdering af risikoen for at blive syg på grund af sygdomsfremkaldende mikroorganismer. Risikoen relateret til kemikalieeksponering fra sekundavand er behandlet tidligere (Corfitzen and Albrechtsen, 2010, 2011). I det følgende skitseres kort trinene i risikovurderingen og dens resultater. Uddybning findes i 13.

6.1.1 Fareidentifikation og skadelige hændelser

Fareidentifikationen har til formål at afklare hvilke mikroorganismer, der udgør en potentiel fare i tilfælde af sekundavandsleverance og i hvilke koncentrationer de kan ventes at optræde i forbindelse med sekundavandssystemet (og det eksisterende drikkevandssystem, i tilfældet med 0-konceptet).

I koncept 0, business-as-usual-konceptet, der anvendes som reference, er vandet som udgangspunkt fri for sygdomsfremkaldende organismer jf. krav til drikkevandskvalitet. Dog oplever vandforsyningen af og til detektion af indikatororganismer, for København var 6 ud af 1962 prøver i perioden 2005-2012 positive for *E. coli*. På den baggrund er det estimeret at en worst case forekomst af norovirus mellem $7,1 \cdot 10^{-5}$ /100 ml og $7,1 \cdot 10^{-8}$ /100 ml i det eksisterende drikkevandssystem.

I Koncept 1 er det vurderet at norovirus har teoretisk mulighed for at transporteres fra overfladen af Fælledparken til grundvandsindvindingen. Det vurderes endvidere at risikoen for transport af norovirus er større end bakterier og parasitter, og at norovirus ikke vil fjernes i det foreslåede behandlingsprocess med sandfiltre. Norovirus er derfor valgt som modelorganisme.

I Koncept 2, Afsaltning af havvand til sekundavandsbrug, er det vurderet at infiltrationen gennem havbund, grundvandszone og efterfølgende behandling i afsaltning anlæg vil sikre

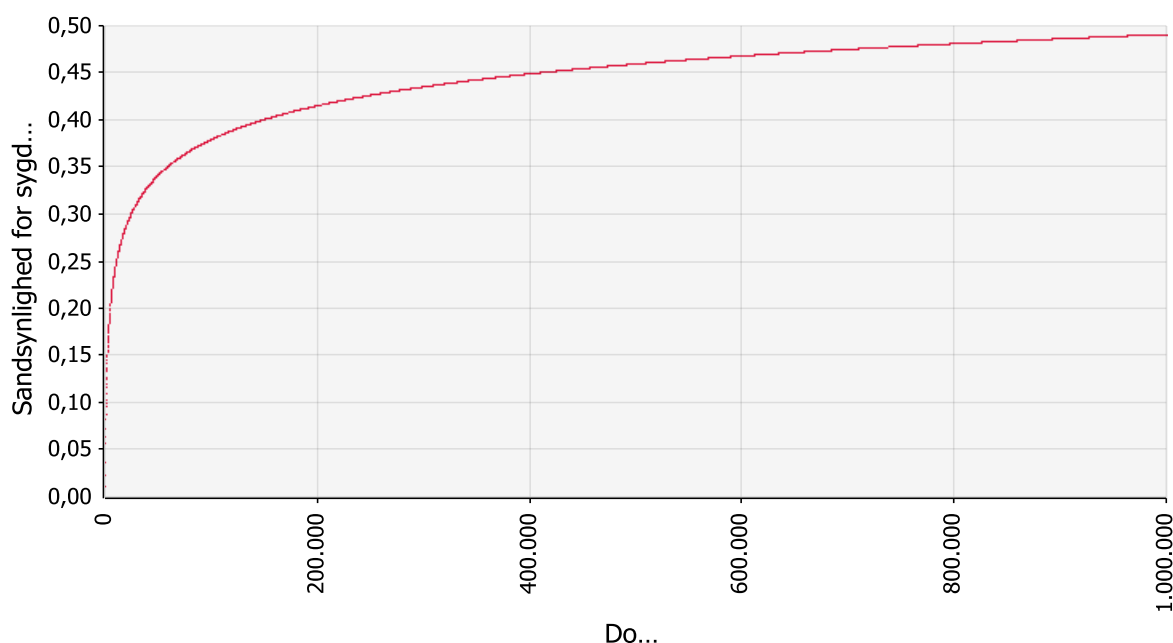
overholdelse af drikkevandskvalitetskrav, selv i tilfælde af at afsaltningsprocessen svigter. Derfor antages risikoniveauet at være som i den nuværende drikkevandsforsyning eller bedre.

6.1.2 Eksponering

Eksponeringen er beskrevet ved sandsynlighedsvurderinger for antallet af virus i vandet, mængden af vand, der drikkes og sandsynligheder for overførsel af sekundavand til borgeren. I tilfældet af toiletskyl antages overførsel af vand til brugen via aerosoler, mens der for tøjvask er antaget en overførsel af virus fra det våde tøj via hænderne til munden. Overførselsrater er baseret på udenlandske erfaringer. Som worst-case tilfælde er det ligeledes vurderet at der i tilfælde af fejltilslutninger løber ufortyndet sekundavand til vandhane hvor det drikkes. Risikoen for fejltilslutninger er baseret på udenlandske studier af fejlkoblinger.

6.1.3 Dosis respons

Dosis/respons relationen er en model eller funktion, der viser sammenhængen mellem antallet af organismer, der er indtaget, og sandsynligheden for at blive inficeret. Infektion defineres ved, at man har dannet antistoffer mod Norovirus eller har Norovirus i fæces. For Norovirus er denne funktion en såkaldt exact betapoisson (Teunis et al., 2008) og dosis-respons funktionen for sygdom er vist i Figur 6.1.



Figur 6.1: Sandsynligheden for at ikke immune inficerede personer bliver syge som funktion af dosis. Enhed for dosis er Norovirus partikler (13).

Den endelige sandsynlighed for infektion er estimeret under hensyn til at der kan være tale om kombineret eksponering fx ved tøjvask og fejlkobling.

6.1.4 Beregnet risiko og resultater

Internationalt set er der to accepterede mål for acceptabel risiko. USEPA har defineret acceptabel risiko i forbindelse med drikkevand til at være 1 inficeret person pr år ud af en population på 10.000 (Lechevallier and Buckley, 2007). Et andet mål for sygdomsbyrde er

DALY, Disability Adjusted Life Years, som er blevet introduceret af WHO i forbindelse med drikkevand og som beregnes som summen af tabte leveår og leveår levet med sygdom. WHO anser 1 μ Daly pr person pr år som et tolerabelt niveau.

Tabel 6.1: Beregning af gennemsnitlige koncentrationer, der giver en gennemsnitlig årlig sandsynlighed for infektion på cirka 0,0001, beregning af gennemsnitlig sandsynlighed for infektion ved "business-as-usual" samt beregnet sygdomsbyrde i enheden DALY (13).

	Gennemsnitlig koncentration (/L)	Gennemsnitlig sandsynlighed for infektion (/år)	Gennemsnitlig årlig sygdomsbyrde (DALY)
0-koncept – Business-as-usual	$7,1 \cdot 10^{-7}$ til $7,1 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-9}$
Tøjvask	500	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-11}$
Toiletskyl	7	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-11}$
Fejlttilslutning	1	$2 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-11}$

Den største risiko er forbundet med fejlttilslutninger, herefter risikoen ved toiletskyl og mindst risiko er forbundet med tøjvask (Tabel 6.1). Hvis risikoen skal begrænses vil der være størst effekt ved at reducere sandsynligheden for fejlttilslutninger.

Vores beregninger viser, at der ved en koncentration på 1 Norovirus/L i sekundavandet vil være en sandsynlighed for at blive inficeret på cirka 0,0002, når der tages hensyn til tøjvask, toiletskyl og fejlttilslutninger. I forhold til USEPA's kriterium er dette en acceptabel risiko, usikkerheden taget i betragtning, og såfremt der ikke er andet sygdomsfremkaldende i vandet samtidigt. Endvidere svarer risikoen nogenlunde til risikoen i business-as-usual-konceptet. I forhold til WHO's kriterium, er den beregnede risiko for anvendelse af sekundavand med en koncentration på 1 Norovirus/L langt under.

Den største risiko er forbundet med fejlttilslutninger. Ved tøjvask-konceptet skal den gennemsnitlige koncentration være 500 gange højere, for at nå op på samme risiko for infektion, som den der er forbundet med fejlttilslutninger, og for toiletskyl vedkommende skal koncentrationen være 7 gange højere, herefter risikoen ved toiletskyl og mindst risiko er forbundet med tøjvask. Hvis risikoen skal begrænses vil der være størst effekt ved at reducere sandsynligheden for fejlttilslutninger.

Forekomsten af virus, herunder norovirus, i dansk drikkevand er ukendt. Det er derfor ikke muligt at give en kvalificeret vurdering af om, der vil være norovirus i vand indvundet fra Fælledparken. Det er dog ikke helt usandsynligt, da flere udenlandske undersøgelser peger på, at der kan være virus selv i velbeskyttet grundvand (Se appendix B).

Vurderingen af sundhedsrisici er uddybet i kapitel 13.

7. Livscyklusvurdering inklusiv vurdering af ferskvandspåvirkning

Sekundavandskoncepternes påvirkning af miljøet er vurderet ved hjælp af livscyklusvurdering (LCA). LCA opgør typisk en produkt eller systems miljøpåvirkning gennem kvantificeringen af en række indikatorer, der dækker emissioner til miljøet (fx udledninger af CO₂-ækvivalenter, næringssalte mv.), ressourceforbrug (fx brugen af sjældne metaller) og udledning af giftstoffer (toksicitet for natur og mennesker). Metoden der er brugt her følger på nær enkelte afvigelser, der er angivet i den uddybede udgave, den internationale ISO standard 14044. I det følgende skitseres fremgangsmåden kort med de væsentligste resultater. Den fulde LCA findes i (0).

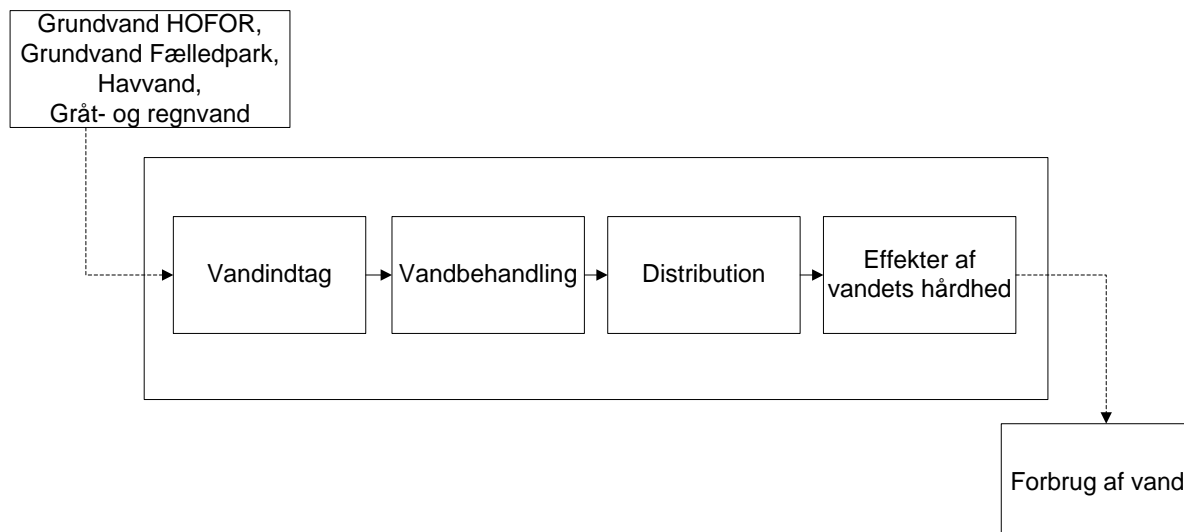
LCA er en systematisk opgørelse af de kendte og kvantificerbare udvekslinger mellem miljøet og det system eller produkt, der miljøevalueres. I dette tilfælde er der tale om en serviceydelse i form af et system, som forsyner Nordhavnen med sekundavand. Metoden inddrager alle miljøudvekslinger og påvirkninger i systemets livscyklus fra vugge til grav. Det vil sige, analysen starter med råstofudvinding til at bygge og etablere systemet, inkluderer driften af systemet og ender med bortskaffelse af de komponenter, der indgår i systemet.

7.1.1 Funktionel enhed og systemafgrænsning

Den funktionelle enhed er i denne rapport defineret som distribution af 1 m³ sekundavand i Nordhavnens Trælsthølm og Sundmøllen. Det betyder, at alle input og output i LCA'en opgøres i forhold til 1 m³ sekundavand i den givne installation eller proces' levetid.

Afgrænsningen af det modellerede system er gengivet i Figur 7.1.

5 koncepter er vurderet, herunder business-as-usual konceptet. Da Koncept 4, lokal recirkulering af gråt spildevand ikke er klart teknologisk defineret, er miljøpåvirkningen her opgjort på baggrund af et tidligere studie af et sekundavandsanlæg (Miljøstyrelsen 2011). Konceptet indgår således i denne sammenhæng med det forbehold, at det ikke er baseret på et konkret konceptforslag til Nordhavn. Resultaterne er stadig relevante, da de må betragtes på bedste bud på miljøpåvirkningen fra et lokalt anlæg med recirkulering af gråt spildevand i en dansk sammenhæng.



Figur 7.1. Systemafgrænsning, der viser de processer der er medtaget i LCA'en. Processer fra Vandindtag til Effekter af vandets hårdhed er med i LCA'en (0).

7.1.2 Påvirkningskategorier og -opgørelse

Når alle input og output er opgjort samles resultaterne i en livscyklusopgørelse, der er grupperet efter potentielle påvirkninger (påvirkningskategorier). Der er 3 overordnede områder af påvirkninger, som er miljøpåvirkninger, toksicitet og ressourceforbrug. I miljøpåvirkning samles for eksempel drivhuseffekt, forsuring, smogdannelse og næringssaltbelastning.

Påvirkningskategorier anvendt i denne LCA er udvalgt, så de forventes at give et dækkende billede for den samlede miljøbelastning af de udvalgte koncepter (Tabel 7.1).

Tabel 7.1. Påvirkningskategorier udvalgt til præsentation af resultater af LCA sekundavandshåndtering i Nordhavn (kapitel 14).

Område	Påvirkningskategori	Enhed før normalisering	LCA metode
Miljø	Klimaforandring	CO ₂ -ækvivalent	ReCiPe
	Forsuring	SO ₂ -ækvivalent	ReCiPe
	Smogdannelse	C ₂ H ₄ -ækvivalent	ReCiPe
	Næringssaltbelastning	NO ₃ ²⁻ -ækvivalent	ReCiPe
Ressourcer	Metal-udtømning	Fe-ækvivalent	ReCiPe
Toksicitet	Øko-toksicitet	CTUh (comparative toxic unit human)	USE-tox
	Human-toksicitet (cancer)	CTUe (comparative toxic unit ecosystem)	USE-tox

Efter at have opgjort påvirkningerne per påvirkningskategori normaliseres resultaterne, dvs. de sættes i forhold til en fælles reference for hver kategori. I dette studie sættes de i forhold til den årlige påvirkning for én gennemsnits person i den givne region (Europa). Herved omdannes det normaliserede resultat til den såkaldte personækvivalent (*eng.* person equivalent med enheden PE). Endeligt kan de normaliserede resultater også vægtes, hvilket er et trin hvor påvirkningskategoriernes relative vægte tilføjes. Et vægtet resultat tillader at

påvirkningskategorierne kan lægges sammen til ét resultat indenfor hvert område (miljø, ressourcer og toksicitet) og angives i enheden *personal equivalent targeted* (PET).

7.1.3 Påvirkning af ferskvandet fra grundvandsindvindingen

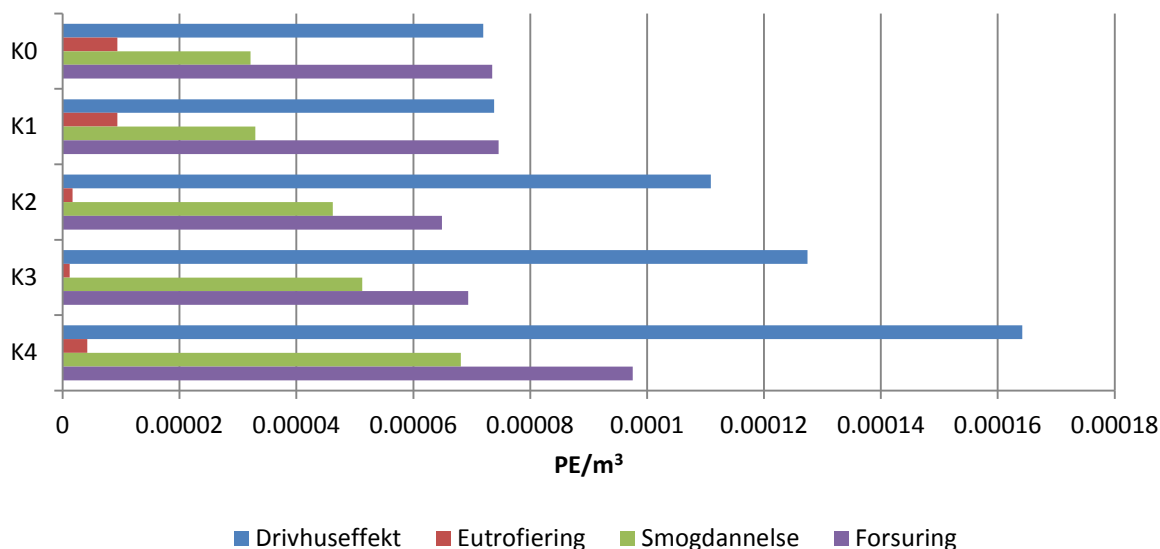
I dag inddrager LCA ikke ferskvandsressourcen og dens knaphed. Dette er efterspurgt af mange virksomheder, da de ønsker at kunne angive deres "water footprint" eller en given aktivitets påvirkning af ferskvandsressourcen.

Vi har i dette studie anvendt en metode, som blev udviklet i forbindelse med et PhD-studie (Godskesen, 2012). Metoden inddrager den lokale grundvandsressource ud fra data fra Vandrammedirektivets vandplaner. Når denne miljøkategori medtages, er det tidligere vist at resultatet af standard LCA'en ændres kraftigt (Godskesen *et al.*, 2013), idet de teknologier, der ikke beror på grundvand favoriseres.

7.1.4 Resultater

Resultaterne viser, at påvirkning af drivhuseffekt er den væsentligste miljøpåvirkning af de traditionelle påvirkningskategorier, efterfulgt af forsurening (Figur 7.2). Miljøpåvirkningen er forholdsvis lav ($1,6E-4 - 0,5E-4$ PE/m³), hvilket er et udtryk for, at miljøpåvirkningen fra vandforsyning (både T0 og sekundavandsteknologierne) generelt er lav i forhold til en gennemsnitpersons miljøpåvirkning på et år. Generelt har koncepterne K0 Business-as-usual og K1 Let forurennet grundvand, der er primært baseret på grundvand, den laveste miljøpåvirkning, mens de øvrige koncepter har en væsentlig højere miljøpåvirkning. Forskellen forklares primært af elektricitetsforbrug i behandlingsteknologien, der forårsager mere end 90% af påvirkningen af drivhuseffekten i koncepterne K2/3 Afsaltningsbaseret og K4 regn- og gråt spildevandsbaseret sekundavandsforsyning.

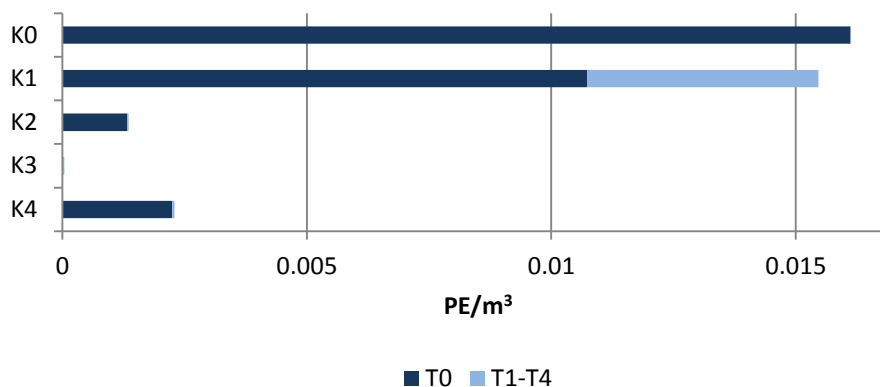
Miljøpåvirkning, normaliseret



Figur 7.2. Det normaliserede resultat fra LCA af sekundavand til Nordhavn for grundvandsindvindingen, som vi kender den i dag (T0) og de 4 sekundavandskoncepter (K1-K4).

Inkluderes påvirkningen af ferskvandsressourcen ændres billedet markant, hvilket er i overensstemmelse med tidligere resultater af LCA på vandforsyning (Godskesen et al., 2013). Ferskvandspåvirkningen varierer mellem 0,04 og 16,1 mPE/m³ og er ca. 100 gange større end de øvrige miljøpåvirkningskategorier for de fem koncepter Figur 7.3.

Påvirkning af ferskvandsressourcen fra grundvandsindvinding



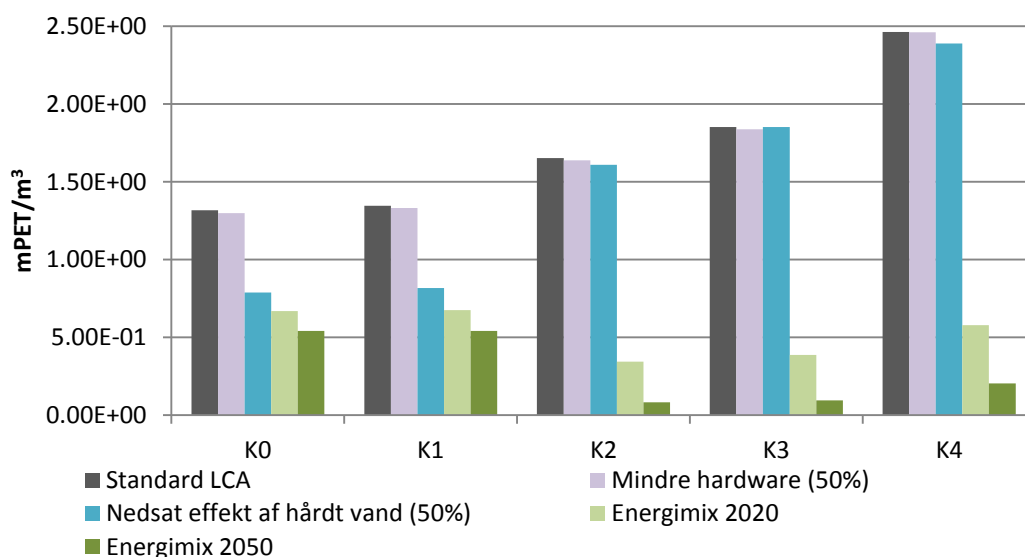
Figur 7.3. Påvirkning af ferskvandsmiljøet fra grundvandsindvindingen. T0 angiver at påvirkningen stammer fra grundvandsindvinding udenfor København, mens T1-T4 angiver at påvirkningen stammer fra den indvinding, der kendetegner koncepterne K1 til K4 som alternativer til K0 Business-as-usual.

For ferskvandspåvirkningen ses det, at K0 Business-as-usual og K1 Let forurennet grundvand har de højeste påvirkninger (15,5 – 16,1 mPE/m³). De resterende tre koncepter, der ikke er

primært baseret på grundvand, medfører forholdsvis små bidrag til ferskvandspåvirkningen ($0,04 - 2,3 \text{ mPE/m}^3$). Det skyldes, at disse ressourcer beror på en ressource, som ikke er en del af ferskvandsressourcen.

Ovenstående billede gentager sig i grove træk også for kategorierne toksicitet og ressourceudvinding.

7.1.5 Følsomhedsanalyse



Figur 7.4. Resultatet af følsomhedsanalysen, hvor parametrene mindre hardware (anlæg), effekter af hårdt vand, Energimix i henhold til danske politiske målsætninger for el i 2020 og 2050 er ændret. Den første søjle (grå) er resultatet fra det vægtede resultat af standard LCA'en, dvs samlet miljø påvirkning uden ferskvandspåvirkning.

Det ses af følsomhedsanalysen (Figur 7.4), at de fremtidige forventninger til andelen af vedvarende energi reducerer miljøpåvirkningen fra standard LCA'en signifikant, både når den vedvarende andel udgør 50% (Energimix 2020) og især når den udgør 100% (Energimix 2050). Med en energisammensætning som forventes i 2050 bliver afsaltning af havvand (K2 og K3) og regn- og gråtvandsanlæg (K4) mest favorable sammenlignet med de grundvandsbaserede koncepter, som fortsat antages uden central blødgøring. Dog resulterer de ikke grundvandsbaserede koncepter (K2-K4) i et øget elektricitetsforbrug, hvilket ikke er miljømæssigt ønskeligt med mindre det højere energiforbrug baseres på overskudselektricitet fra el-nettet. Blødgøres de grundvandsbaserede forsyninger centralt vil det nedsætte deres miljøpåvirkninger.

Der er ikke lavet følsomhedsanalyse af parameteren påvirkning af ferskvandsressourcen fra grundvandsindvindingen, da det tidligere er fundet, at denne miljøkategori er robust og i øvrigt har en højere påvirkning end de andre miljøkategorier (Godskesen, 2013).

7.1.6 Samlet miljøvurdering

De væsentligste konklusioner af miljøvurderingen er:

- K0 Business-as-usual og K1 Let forurennet grundvand har de laveste miljøpåvirkninger ($1,3 - 1,4 \text{ mPET/m}^3$), og at miljøpåvirkningen stiger fra K1 til K4 Regnopsamling og gråt spildevandsanlæg ($1,4 - 2,5 \text{ mPET/m}^3$).
- Inkluderer påvirkning af ferskvandsressourcen fra grundvandsindvindingen viser K0 og K1 den højeste påvirkning ($15,5 - 16,1 \text{ mPE/m}^3$) og altså ca en faktor 100 højere end de traditionelle LCA miljøpåvirkningskategorier.
- Det medfører, at når påvirkning af ferskvandsressourcen integreres i LCA'en vil konklusionen ændres sådan at K3 Afsaltet havvand som drikkevand er konceptet med den laveste påvirkning efterfulgt af K2 Afsaltet havvand som sekundavand og K4 regnopsamling og spildevand samt at K1 og K0 har den højeste miljøpåvirkning.
- Med den forventede elektricitetssammensætning for 2050 ændres koncepterne med et højt energiforbrug - afsaltning af havvand (K2 og K3) og regn- og gråtvandsanlæg (K4) - fra at være dem med den højeste miljøpåvirkning (undtaget ferskvandspåvirkning) til den laveste. Resultaterne er kun gældende når, der ikke foretages central blødgøring af grundvandsbaseret drikke- og sekundavand. Blødgøres vand centralt vil det nedsætte miljøpåvirkning af de grundvandsbaserede teknologier.

Vurderingen af miljøpåvirkningen er uddybet i kapitel 14.

8. Borger/kunde undersøgelse

I Danmark har vi en lang tradition og erfaring med at bruge rent grundvand, der ikke har gennemgået en kemisk rensning i husholdningerne. I undersøgelsen af borger- og kundeperspektiver vedrørende brug af sekundavand er formålet at få en forståelse for borgernes/kundernes holdninger, værdier og bekymringer ved at bruge sekundavand og forskellige typer af vandkvaliteter i boligen. De spørgsmål, som undersøgelsen således søger at bidrage til er således: Hvad tænker borgerne/kunderne om at flytte ind i en bolig med en anden type vandkvalitet i toilettet/vaskemaskinen/bruseren mv. set i forhold til at dette bryder med traditionen for rent grundvand i boligen? Hvad har betydning for at borgerne/kunderne har tillid til at vandet i boligen er rent og risikofrit at drikke? Hvilke værdier og argumenter kan identificeres i relation til at bruge andre vandkvaliteter? Hvilke værdier og initiativer skal der arbejdes med, hvis der skal indføres systemer med sekundavand i Nordhavn?

Undersøgelsen retter sig mod at undersøge kunder /borgere i rollen som beboere i Nordhavn, der evt. vil kunne komme til at bruge sekundavand i deres husholdning. Undersøgelsen omfatter ikke virksomheder og deres ansatte. Undersøgelsen kobler flere forskellige delundersøgelser med bl.a. potentielle beboere og beboere i boligforeninger, der allerede i dag benytter sekundavand.

Begrebet borger/kunde bruges til at vise den aktuelle dualitet i rollen som borger med pligter og rettigheder i forhold til den kollektive forsyning og rollen som kunde, der betaler forsyningsselskabet for en service og har mindre indsiget og indflydelse.

Undersøgelsen viser, at borgere/kunder generelt er meget positive overfor at flytte ind i en bolig med sekundavand. Der er stor opbakning til brugen af sekundavand til toiletskyl og størstedelen af deltagerne synes også, at det er positivt med sekundavand til tøjvask, opvaskemaskine, bilvask, havevanding. Der kan spores noget skepsis i forhold til at drikke sekundavand, selv om det er rensat til drikkevandskvalitet, og flere borgere/kunder foretrækker at beholde det rene grundvand til drikkevand.

Det er vigtigt at understrege, at deltagernes incitamenter til at være positive overfor sekundavand i boligen i meget høj grad er ressource- og miljøhensyn. Der ses en tæt kobling mellem at bruge sekundavand og at gøre noget for at spare på det rene grundvand, samt at få et bedre vandmiljø i Danmark. Hvis det således kan påvises, at der ikke er miljø- og ressource-mæssige argumenter vil opbakningen formodentlig være væsentlig mindre.

Der er stor tillid til de professionelle og deres viden på området. Generelt har borgerne/kunderne en høj tillid til at vandforsyningen fungerer optimalt og der er rent vand i hanen, hvilket bygger på de positive erfaringer, de har med forsyningen og driften. Borgerne/brugerne har tillid til at sekundavandet bliver rensat tilfredsstillende, når det benyttes til toiletskyl, tøjvask, opvask, havevanding og bad, mens der er en større mistillid og skepsis ift. at drikke sekundavand. Flere deltagere føler sig usikre på, om der kan være langtidseffekter ved at drikke vandet, og stiller spørgsmålstejn til hvordan drikkevandet er blevet rensat, og hvorvidt der kan være rester af kemi i vandet efter rensningen. Der vil således være behov for oplysning på området.

Brugernes tillid til drift og rent drikkevand er en foranderlig størrelse, og ændrer sig alt efter hvilke erfaringer de har. DE borgere/kunder, der har erfaringer med at sekundavandsanlægget er ustabil, har mindre tillid til at driften af sekundavandet vil fungere helt uden problemer. De er dog samtidig imødekommende overfor systemet, da de mener det er vigtigt at bruge sekundavand for at spare på vandressourcen. Det vil være vigtigt, at systemet følges tæt og eventuelle problemer håndteres hurtigt og med en god og løbende information til beboerne.

Der er flere opfattelser af priser. Størstedelen af deltagerne i undersøgelsen mener, at sekundavandet principielt skal koste det samme for brugerne, som det rene grundvand koster. Det skal i hvert fald ikke være dyrere at gøre noget godt for miljøet i forhold til at belaste det. Man vil dog gerne betale for et godt miljø, hvis der ikke samtidig er 'free-ridere', der slipper billigere med løsninger, der belaster miljøet. Det bemærkes, at flere deltagere ikke ved, hvor stor deres vandregning er, hvilket bekræftes af en undersøgelse, der er gennemført af DANVA for HOFOR (tidligere Københavns Energi) i 2012.

Størstedelen af deltagerne synes det er fint, hvis der er to rørsystemer, så sekundavandet er adskilt fra det rene grundvand., og flere mener at sekundavandet ikke nødvendigvis skal renses til drikkevandskvalitet, når det fx. benyttes til toiletskyl.

Undersøgelsen peger på potentialerne ved en mere kreativ formidling og synliggørelse af miljømæssige tiltag i byområdet, da det vil være med til at skabe identitet til byområdet og styrke ejerskabet. Det vil også være afgørende for holdningen ved evt. problemer med anlægget.

Alt i alt peger materialet på, at borgerne ikke skal opfattes som en barriere for at indføre sekundvand, hvis der kan argumenteres i forhold til miljø- og ressourceforbedringer. En god og kreativ formidling af I viden vil øge tilliden til skiftet fra rent grundvand til sekundavand.

I kapitel 15 kan man læse mere om undersøgelsen og dens konklusioner.

9. Skalering og perspektiver for at overføre konceptideerne til andre byområder

Baseret på resultaterne af de forrige afsnit forholder vi os i det følgende til hvilken skala de foreslåede løsninger er relevante for. Der gives også en vurdering af perspektiverne for at hele eller dele af de foreslåede koncepter kan overføres til andre bydele i Danmark. Vurderingen er baseret på fem kriterier, der forventes at være afgørende for, om koncepter for alternativ vandhåndtering er relevante på andre skalaer og andre lokaliteter: 1) selvforsyningsgrad, 2) synergi og udfordringer med lokale geografiske forhold, 3) nybyg versus renovering, 4) integration med byens ressourcekredsløb og 5) skalering af produktionskapacitet. Koncepterne er gennemgået hver for sig i forhold til de nævnte skaleringsemner (Tabel 9.1).

9.1 Selvforsyningsgrad

Selvforsyningsgraden, dvs. andelen af vand, der indvindes i lokalområdet, er et direkte mål for en bys eller en bydels afhængighed af importeret vand. Med en øget selvforsyningsgrad vil byen eller bydelen få reduceret afhængigheden af tilladelser til vandindvinding i områder, der ligger uden for bydelens vandforvaltning, og som måske er under pres pga. høje udnyttelsesgrader af vandressourcen (Henriksen and Sonnenborg, 2003) eller implementeringen af EU Vandrammedirektivet via vandplanerne (Naturstyrelsen, 2013).

Alle fire koncepter vil øge byens eller områdets vandselvforsyningsgrad og dermed reducere belastningen af oplandets grundvandsressourcer. Som udgangspunkt og i en dansk kontekst er der tale om en særlig sjællandsk problemstilling, men der kan være andre områder i Danmark, hvor der ønskes en øget selvforsyningsgrad af hensyn til presset på grundvandsressourcen.

En øget selvforsyningsgrad kan også være relevant for lokale virksomheder, boligforeninger eller bygherrer, der ønsker at profilere sig på et reduceret vandforbrug, fx målt som "water footprint". De foreslåede sekundavandskoncepter er målt på den ene parameter "selvforsyningsgrad" relevante over hele landet og også på forskellige skalaer afhængigt af, om der er tale om en enkelt virksomhed, en boligkarré eller en by som helhed.

9.2 Synergi og udfordringer med lokale geografiske forhold

Udvikling af vandforvaltning og implementering af vandteknologier vil være bundet op på lokale forhold, og en løsning et sted er ikke nødvendigvis en ligeså god løsning et andet sted. Derfor er det relevant at beskrive i hvilken grad de fire foreslåede koncepter er skræddersyet til lokale forhold i Nordhavn.

De fire koncepter er meget afhængige af lokale forhold. Konceptbeskrivelsen og den økonomiske evaluering viste, at etablering af transport af vand gennem byen belaster koncept 1 forurenede grundvand, der baserer sig på indvinding og behandling adskilt fra stedet, hvor vandet anvendes. Det er således fordelagtigt at udnytte lokale ressourcer, der er så lokale, at der ikke skal lægges nye rør gennem tæt bebyggede områder. I koncept K1 var der tale om en sekundær vandkvalitet, der kræver separat rørsystem, men i tilfælde af at vandet har drikkevandskvalitet som i K3 afsaltning til drikkevand, vil det være muligt at udnytte overskydende kapacitet i det eksisterende drikkevandssystem. Afsaltningskoncepterne (K2 og

K3) er fordelagtigt at placere nær kysten, hvor der vil være nem adgang til ressourcen (brakvand/havvand) og nem afledning af koncentrat fra membranprocessen. Byer med ringere adgang til brakke eller salte vandressourcer, vil være mindre relevante at etablere afsaltning i. Regnvandsopsamling og recirkulering af gråt spildevand (koncept 4) er her tænkt som en decentral løsning, der fungerer uafhængigt af lokalområdets geografi. Samlet set vil koncepterne baseret på grund- og brakvand være mere afhængig af placeringen, end den decentrale regnvand/gråvandsløsning (koncept 4).

Tabel 9.1. Oversigt over potentialer og udfordringer i forbindelse med overførsel af de foreslåede koncepter til andre skalaer eller områder i Danmark.

K1 Forurennet grundvand	K2 Afsaltning sekundavand	K3 Afsaltning drikkevand	K4 Regnvandsopsamling og recirkulering
Selvforsyningsgrad med vand			
Såfremt indvindingen ikke påvirker grundvandsressourcen udenfor København, vil byens selvforsyningsgrad øges. Selve Nordhavnsområdet bliver ikke mere selvforsynende, da vandet importeres til bydelen.	Konceptet indvinder vand fra en lokal boring, og dermed øges bydelens selvforsyningsgrad.	Som K2.	Lokal recirkulering vil øge områdets selvforsyningsgrad.
Synergi og kendte udfordringer med lokale forhold			
Etablering af grundvandsindvinding og særligt transport af sekundavand på tværs af etableret tætbebygget område er omkostningstungt (afsnit 5). Omvendt kan lokal indvinding bidrage til regulering af grundvandsstand fx ved grundvandsænkning eller kunstig infiltration.	Særligt fordelagtigt i kystnære byområder, hvor der vil være kort transport af fødevand og det salte koncentrat fra membranprocessen.	Som ovenfor og derudover vil afsaltning til drikkevandskvalitet øge fleksibiliteten og robustheden i byens vandforsyning. Med forbindelse til det eksisterende distributionssystem vil afsaltningsanlægget kunne fungere som backup der også	Dette system er decentralt og vil kunne overføres til at dække hele eller dele af andre byområder.
Nybyggeri vs. Renovering/Retrofit			
Sekundavandssystemet forventes at være væsentligt billigere at etablere i forbindelse med nybyg, end i tilfælde af renovering af den eksisterende bygningsmasse.	Da systemet kræver en sekundavandsstreng, vil det være særligt omkostningstungt ved renovering. Membrananlæg er kompakte og vil være nemmere end traditionel vandbehandling at indpasse i byrummet.	Afsaltning til drikkevandskvalitet vil kunne indgå både i nybyg og renoveringsprojekter.	Nødvendighed af service-/maskinrum vil gøre det lettest at indpasse i nybyg. Anlæggene er kompakte og vil muligvis kunne indpasses i eksisterende kældre eller under jorden.
Integration med byens ressourcekredsløb			
Etableres anlægget i forbindelse med infiltration af regnvand, vil der være tale om kombineret afløb og vandforsyning, hvor der forventes at være nogle synergieffekter.	Systemet vil være uafhængigt af byens øvrige vandhåndtering og ressourcekredsløb. Det kan undersøges om afsaltningsprocessen kan kobles til energiproduktion, således at vandproduktionen følger produktionen af vedvarende energi fx fra vind.	Som K2.	Den avancerede spildevandsbehandling kan kombineres med genvinding af energi og næringsstoffer.
Skalering af produktionskapacitet			
Etableringen af simpel grundvandsbehandling samt transport af sekundavand gennem byen kræver store investeringer, og større anlæg forventes at medføre lavere omkostninger per leveret m ³ vand. Løsningen er mindre fleksibel i forhold til senere op- og nedskalering af kapaciteten.	Afsaltningsanlæg opbygges i moduler, og hvis pladsen tillader det er opskalering simpel. Kystnære borerer vil trække på en i praksis uendelig ressource, så kapaciteten i praksis afhænger af boringens kapacitet.	Som K2.	Anlæggene vil kunne udformes i forskellige skalaer, fra enkelte opgange, til hele karreer.

9.3 Nybyggeri versus renovering

Nordhavn er under udvikling og vandhåndteringen kan tænkes ind i byggerierne fra begyndelsen. Tre af koncepterne (K1, K2 og K4) forudsætter etablering af en ekstra streng til sekundavandsforsyning, hvilket er enklere at indføre i nybyggeri end renovering af eksisterende boligmasse. K4 Regnvand/recirkulering er derudover baseret på komplekse rørføringer i forbindelse med spildevandsstrømme, hvilket forventes at kunne udføres mere elegant i nybyg, hvor arkitekter og ingeniører kan tænke det ind fra starten. K3 Afsaltning drikkevand har i denne forbindelse den fordel, at der ikke er tale om en egentlig sekundavandsforsyning, men en udvidelse af det eksisterende vandforsyningsnet. Afsaltning til drikkevand er derfor en løsning, der nemt integreres i både nybyg og renoveringsprojekter.

9.4 Integration med byens ressourcekredsløb

Den holistiske tilgang til evalueringen af koncepterne fordrer også en overvejelse af om koncepterne har væsentlig indflydelse på byens øvrige ressource kredsløb. I vores tilfælde vil alle fire koncepter påvirke byens ressourcekredsløb, men dog på forskellig vis. Indvinding af forurenede grundvand vil påvirke grundvandsressourcen og kan indgå i håndtering af regn i forbindelse med infiltration. Afsaltning forventes ikke at påvirke den lokale ferskvandsressource, men der kan muligvis være en mindre synergieffekt med energiproduktion, hvis vandproduktionen kan synkroniseres med produktion af vedvarende energi. Effekten vurderes at være lille, da energiforbruget kun vil udgøre en mindre del af byens samlede energi og elektricitetsforbrug (Rygaard et al., 2009a; Semiat, 2008). Den avancerede spildevandsbehandling åbner for muligheder for lokal indvinding af energi og næringssalte og vil formentlig kunne integreres med byens affaldshåndtering. Det er alle forhold, der er væsentlige at forholde sig til i vurderingen og eventuelt design af systemerne, men det er ikke forhold, der på forhånd udelukker skalering eller overførsel af koncepter til andre byområder.

9.5 Skalering af produktionskapacitet

Koncepterne er udvalgt og designet i forhold til en fuld udbygning af Nordhavn, men vi har ikke forholdt os til hastigheden af udvidelsen af Nordhavn, ligesom variationer i koncepternes kapacitet ikke er undersøgt. Dog er det tydeligt at fleksibiliteten af koncepternes produktionskapacitet varierer. Etableringen af et simpelt vandbehandlingsanlæg til levering af sekundavand baseret på grundvand, vil være et fastlåst system med begrænsede muligheder for kapacitetsudvidelse (medmindre pladsen reserveres på forhånd). Tilsvarende vil det også være svært at nedskalere i tilfælde af at behovet for sekundavand med tiden reduceres. De membranbaserede anlæg er skalérbare og kan udvides med flere moduler og afsaltning til drikkevandsbrug kan fx udvides til at levere en større del af vandet til det konventionelle drikkevandssystem, hvis distributionssystemerne vel at mærke er forbundne. Den decentrale regnvandsopsamling/recirkulering af gråvand (K4) er tænkt designet til specifikke bygninger og vil kunne implementeres hvor det ønskes, hvor skaleringen består i etablering af flere eller færre anlæg. På denne baggrund vurderes det, at K1 forurenede grundvand i højere grad end de øvrige koncepter kræver en nøje forudsigelse af den nødvendige kapacitet, da etableringen af anlægget fastlåser en investering, der besværlig at skalere. De øvrige løsninger er mere fleksible og vil kunne implementeres som først et pilotanlæg og derefter udvides efter behovet i Nordhavn og tilstødende områder. Projektet har ikke forholdt sig til skalaens betydning for omkostningen per m³ vand leveret. Det må dog forventes, at alle systemer vil have reducerede omkostninger som følge af øget produktionskapacitet, som det er vist for afsaltningsanlæg i København (Rygaard et al., 2009a).

10. Diskussion og vurdering af koncepterne

Vi har valgt at samle op på evalueringen af koncepterne i to trin. Først en detaljeret evaluering af koncepterne på baggrund af resultaterne præsenteret i de foregående afsnit. En sådan sammenstilling viser et komplekst billede af evalueringen. Derfor præsenterer vi også en forenkling af resultaterne, hvorved detaljer går tabt, men forskellene mellem de fire koncepter trækkes tilsvarende skarpere op. Sidst er der på baggrund af evalueringen formuleret en anbefaling for beslutningstagerne.

10.1 Evaluering af koncepterne (detaljeret)

Projektet har ført til en holistisk evaluering af fire koncepter for alternativ vandforsyning i Nordhavn: K1 Let forurenset grundvand som sekundavand til toiletskyl og tøjvask (dækker 34 % af vandbehovet), K2 Afsaltet brakvand som sekundavand, til alle formål bortset fra drikkevand (dækker 93 % af behovet), K3 Afsaltet havvand som drikkevand (dækker 100 % af behovet) og K4 Kombineret regnvandsopsamling og gråt spildevand som sekundavandsforsyning (dækker i varierende grad vandforbruget). Det sidste koncept K4 skal ses som inspiration til design af et væsentligt anderledes decentralt system. Da koncept 4s teknologi ikke færdigudviklet, indgår det ikke på lige vilkår i vurderingen, og der er derfor ikke udført en økonomisk vurdering på et specifikt anlæg.

Projektgruppen har på baggrund af rapportens resultater diskuteret en bedømmelse af de enkelte koncepter i forhold til kriterier, som er relevante for udvælgelsen af et system for Nordhavn. Koncepterne er for hvert kriterie bedømt i forhold til K0 Business-as-usual-konceptet, der opfattes som en simpel udvidelse af det eksisterende grundvandsbaserede drikkevandssystem i København (Tabel 10.1). Af denne diskussion kom følgende liste med kriterier, der er vurderet indledningsvist og rent kvalitativt af projektgruppen ud fra følgende definitioner:

- Læring - knowhow: I hvilken grad vil konceptet bidrage til at danske aktører bliver klogere på sekundavandssystemer og alternativ vandhåndtering?
- Læring - empowerment: Vil koncepterne bidrage til at gøre borgerne klogere og/eller gøre dem i stand til at forstå og bidrage til etableringen af vandsystemet?
- Udstillingsvindue for teknologi: Vil konceptet kunne fungere som udstillingsvindue for dansk knowhow, og vil det kunne tiltrække opmærksomhed fra resten af landet/udlandet?
- Fortælling/identitet: Vil koncepterne kunne bidrage til identitetskabelse i bydelen, fx ved at fremstå som et særligt "grønt/bæredygtigt" område?
- Robusthed – naturmæssig: Vil koncepterne bidrage til at øge diversiteten, fleksibiliteten og robustheden af vandsystemet, så det er mindre følsomt overfor forandringer af naturen, fx klimaforandringer?
- Robusthed – infrastruktur: Hvilken fleksibilitet rummer koncepterne fx i forhold til senere op- eller nedskalering af kapaciteten? Fx også hvis konceptet senere forlades.

Kriterierne er så vidt muligt defineret, så der undgås overlap, men det er klart at dele af kriterierne er nært beslægtede, hvilket der må tages højde for ved en eventuel senere vægtning af kriterierne.

Der er ikke et koncept, der skiller sig ud som værende entydigt fordelagtigt eller dårligt at vælge som løsning i Nordhavn. Resultaterne viser at alle alternative koncepter er dyrere end K0 Business-as-usual. K1 Let forurennet grundvand og K3 Afsaltet havvand som drikkevand er billigere og simplere end K2 Afsaltning til sekundavand. Der kan dog være en udfordring med at få borgere/kunder til at acceptere, at de skal drikke afsaltet havvand. Der fungerer K2 som alternativet, hvor afsaltet havvand leveres som sekundavand og ikke drikkes, men det medfører en meromkostning på ca. 17 % primært til etablering af det sekundære rørsystem.

Det er væsentligt at fremhæve, at de afsaltnings-, regn-, og gråtvandsbaserede koncepter er de eneste, der reducerer presset på grundvandsressourcerne i og omkring hovedstadsområdet, som det er beregnet i livscyklusvurderingen.

Tabel 10.1. Projektgruppens evaluering af koncepterne K1-K4 i forhold til K0 Business-as-usual konceptet (den nuværende forsyningsstruktur) på en skala fra -2 til 2, hvor -2 betyder at konceptet vurderes negativt i forhold til K0 og 2 betyder at konceptet vurderes fordelagtigt i forhold til K0. 0 betyder at konceptet vurderes uforandret i forhold til K0.

Emne	Note	K1	K2	K3	K4
Lovgivning	Se afsnit 4	-1	0	0	?
Samlede omkostninger	Se afsnit 5	-1	-2	-1	?
LCA	Se afsnit 0	0	-1	-1	-2
Ferskvandspåvirkning	Se afsnit 0	0	2	2	2
Risikovurdering	Se afsnit 6.1	-1	1	1	-2
Selvforsyningsgrad	Se afsnit 9.1	1	1	2	1
Integration med byens ressourcekredsløb	Se afsnit 9.4	1	0	0	1
Potentiale for overførsel til andre byområder	Se afsnit 9.2 og 9.3	-1	-1	0	-1
Skaleringsfleksibilitet i Nordhavn	Se afsnit 9.5	-2	-1	1	2
Læring – know how	Vurderet af projektgruppen	1	1	1	2
Læring - empowerment	Vurderet af projektgruppen	1	1	1	1
Udstillingsvindue (teknologi)	Vurderet af projektgruppen	1	1	0	2
Fortælling/identitet (tiltrække attraktive beboere)	Vurderet af projektgruppen	1	0	0	2
Robusthed - naturmæssig	Vurderet af projektgruppen	-1	1	1	1
Robusthed - infrastruktur	Vurderet af projektgruppen	-1	0	0	-1

Vurderingen i Tabel 10.1 er afhængig af hvilken aktør, der vurderer konceptet. Dette gælder særligt de sidste seks kriterier vurderet af projektgruppen. Ovenstående er dog et udtryk for det vurderingskompromis, det var muligt at opnå indenfor projektgruppen. Der er ikke nødvendigvis konsensus om vurderingen af de enkelte kriterier, men der er dog enighed om, at det samlede billede kan betragtes som retvisende for gruppens vurdering af koncepterne.

Det er undladt at vægte kriterierne, og dette kan gøres i et senere forløb, hvis det ønskes at udstille aktørernes forskellige præferencer. Derfor er det vigtigt at understrege, at det samlede billede i Tabel 10.1 vil sandsynligvis opfattes forskelligt afhængigt af læserens baggrund og rolle i forhold til vandhåndteringen i Nordhavn.

10.2 Evaluering af koncepterne (forenklet)

Som en forenkling af ovenstående, er det valgt at fremhæve alene de kriterier, der entydigt støtter eller belaster det enkelte koncept i forhold til K0 Business-as-usual (Figur 10.1). Da der ikke her foretages en vægtning af de enkelte kriterier og siden der er kriterier, der ikke peger entydigt for eller imod et givent koncept, er det ikke muligt at vælge et foretrukket koncept af denne forenklede fremstilling.



Figur 10.1 Forenklet sammenstilling af vurderingen af de fire koncepter i forhold til K0 Business-as-usual.

10.3 Anbefalinger

Da projektet ikke kan udpege et enkelt koncept som værende entydigt fordelagtigt for Nordhavn, vælger vi i anbefalingen til beslutningstagerne, at opstille en række vigtige spørgsmål. Svarene på spørgsmålene ligger udenfor formålet med dette projekt, men de er, efter projektgruppens opfattelse og baseret på resultaterne af vurderingen ovenfor, essentielle at afklare, før der kan foretages et kvalificeret valg af koncept for vandhåndteringen i Nordhavn.

- 1) Er der behov for at supplere den grundvandsbaserede vandindvinding i og omkring hovedstadsområdet med en alternativ ressource?
- 2) Skal vandforsyningen i Nordhavn fungere som et demonstrationsprojekt for nye teknologier?
- 3) Er en øget vandselvforsyningsgrad i Nordhavn et mål i sig selv (en bydel i vandbalance)?
- 4) Skal vandforsyningen inddrage borgerne aktivt og bidrage direkte til læring, identitetskabelse og empowerment?
- 5) Hvilke øvrige alternative koncepter bør overvejes?
- 6) Hvem skal betale, hvis der indføres en alternativ vandforsyning i Nordhavn?

Spørgsmål 1) og 2) relaterer sig til formålet med etablering af en alternativ vandforsyning. Handler det om, at der er en konkret vandmangel i hovedstadsområdet, så peger denne undersøgelse på koncept 3) Afsaltning til drikkevand (eller 4 Regn/gråvand), afhængig af endelig udformning som værende en god løsning.

Hvis omkostningerne er af mindre betydning, fordi der er opbakning til, at systemet skal være et opsigtsvækkende demonstrationsanlæg, fungere som læring for borgere, eller afsæt for teknologiafprøvning på en dansk hjemmemarked, så er koncept 4 Regn/Gråt spildevand et godt bud på en løsning. Dette vil fx være i tråd med den grøn-vækst-dagsorden, der blandt andet kommer til udtryk i EU's Horizon2020 program, regeringens Inno+ initiativ og ønsker om fyrtårnsprojekter indenfor grønne teknologier.

K2 Afsaltning som sekundavand kan fungere som et kompromis der også kan tilgodese et ja-svar på spørgsmål 1) og 2).

Vores projekt tager udgangspunkt i at se på Nordhavn som et isoleret område. Koncepterne kunne i højere grad tænkes ind i hele byens sammenhæng, og måske er der andre områder af byen, hvor en alternativ forsyning er fordelagtig, mens Nordhavn så kunne forsynes på traditionel vis. Derfor er det relevant, at spørge om en reduktion af vandimport specifikt for Nordhavn er et mål i sig selv, fx som led i etableringen af en stærk miljøprofil for området.

Ligesom den geografiske afgrænsning bør overvejes, bør også borgernes inddragelse overvejes. Spørgsmål 4 handler derfor om at afklare hvorvidt borgerne ønskes inddraget som ressourcer i design og drift af vandsystemet. Igen åbner de decentrale systemer, især K4 Regn-/Gråt spildevand, for muligheder, det nuværende system ikke byder på, men borgerne kan principielt inddrages i alle de foreslåede systemer inkl. K0 Business-as-usual hvis det ønskes.

Spørgsmål 5) er en påmindelse om, at projektet alene har haft til formål at vurdere de 4 udvalgte koncepter. Der kan være en lang række øvrige muligheder for supplering af den Københavnske vandforsyning, som ikke er dækket af dette arbejde, fx recirkulering af spildevand til naturgenopretning, toiletskyl med saltvand, regnvandsopsamling til toiletskyl og tøjvask osv.

En overvejelse af de fem spørgsmål i sammenhæng med denne rapports resultater, burde give en væsentlig afklaring i forhold til en kommende forsyningsstrategi for Nordhavn.

11. Konklusion

Dette projekt har opstillet fire koncepter for en alternativ vandleverance i Nordhavn, Købehavn. Koncepterne baserer sig på rensning af let forurennet grundvand, afsaltning af havvand og opsamling af regnvand/recirkulering af gråt spildevand.

Koncepterne er vurderet i forhold til en række kriterier, der inkluderer lovgivning, økonomi, sundhedsrisici, miljøbelastning, borger/kunde perspektiver og mulighederne for skalering eller overførsel af koncepter til andre områder. For at sikre en helhedsorienteret vurdering er der også foretaget en indledende vurdering i forhold til "eksperimentets værdi" og koncepternes robusthed.

Opstillingen af koncepterne og den efterfølgende vurdering viser et meget komplekst billede og giver ikke entydigt svar på, hvad der er rigtigt at gøre i Nordhavn. Det forventes at aktører i vandhåndteringen vil have forskellige præferencer, og vi lader det være op til den enkelte aktør at vægte de enkelte kriterier mod hinanden.

I forhold til den videre planlægning af Nordhavn og fortsat arbejde med lignende vandhåndteringskoncepter, anbefaler vi at beslutningstagerne forholder sig til en række spørgsmål, hvor at de væsentligste handler om 1) er der en reel vandmangel på Sjælland som koncepterne skal afhjælpe? Og 2) skal koncepterne fungere som eksperiment og udstillingsvindue? Svarene på de listede spørgsmål vil være afklarende i forhold til den videre planlægning i Nordhavn.

Referencer (Kapitel 1-11)

- Albrechtsen, H.-J., Rygaard, M., Sørensen, T.B., Kristensen, G.K., Christiansen, A., Krarup, L., Nielsen, H., Thy, C., 2012. Vandteknologier, in: Niels Axel Nielsen, Albrechtsen, Hans-Jørgen, Huusom, J.K., Rasmussen, A.A., Friis, A., Hansen, S.S. (Eds.), Rengøring På Slagterier Og Mejerier i Danmark. Technical University of Denmark.
- Corfitzen, C.B., Albrechtsen, H., 2010. Notat om foreløbig risikovurdering ved anvendelse af sekundavand – grundvand indvundet i Københavns kommune – til toiletskyl og tøjvask .
- Corfitzen, C.B., Albrechtsen, H.-J., 2011. Vurdering af risici ved anvendelser af sekundavand generelt samt konkret vurdering af sekundavandet fra de nye vandkiosker. DTU Miljø, Kgs. Lyngby.
- COWI, 2012. Den blå by, Teknik- og Miljøforvaltningen, Københavns Kommune.
- Henriksen, H.J., Sonnenborg, A., 2003. Ferskvandets kredsløb.
- Lechevallier, M., Buckley, M., 2007. Clean Water: What is acceptable microbial risk?, The American Biology Teacher. Washington, D.C., USA.
- Leung, R.W.K., Li, D.C.H., Yu, W.K., Chui, H.K., Lee, T.O., van Loosdrecht, M.C.M., Chen, G.H., 2012. Integration of seawater and grey water reuse to maximize alternative water resource for coastal areas: the case of the Hong Kong International Airport. Water Sci. Technol. 65, 410–7.
- Miljøstyrelsen 2003. Risikovurdering af anvendelse af opsamlet tagvand i private havebrug. Rapport udarbejdet af Karsten Arnbjerg-Nielsen, Linda Hansen, Arne Bernt Hasling, Jes Clauson-Kaas og Niels Jørgen Hansen. Økologisk byfornyelse og spildevandsrensning. Nr. 38.
- Miljøstyrelsen 2005. Risikovurdering af anvendelse af lokalt opsamlet fæces i private havebrug. Rapport udarbejdet af Karsten Arnbjerg-Nielsen, Linda Hansen, Jesper Kjølholt, Frank Stuer-Lauridsen, Arne Bernt Hasling, Niels Jørgen Hansen, Thor Axel Stenström, Caroline Schønning, Therese Westrell, Anders Carlsen, og Bent Halling-Sørensen. Økologisk byfornyelse og spildevandsrensning. Nr. 54.
- Miljøstyrelsen, 2011. Livscyklusvurdering af anlæg til forsyning af sekundavand i København, ISBN 978-87-92708-29-8. København, Danmark.
- Miljøstyrelsen, 2012. Redegørelse om jordforurening 2010. København, Danmark.
- Naturstyrelsen 2011. Sundhedsaspekter ved regnbaseret rekreativt vand i større byer. Rapport udarbejdet af Jes Clauson-Kaas, Anders Dalsgaard, Frank Fotel, og Lone B. Thuesen. ISBN 978-87-92708-35-9.
- Naturstyrelsen, 2013. Offentlig høring af forslag til de statslige vandplaner (2010-2015) samt tilhørende miljørapporter [WWW Document]. URL http://www.naturstyrelsen.dk/Vandet/Vandplaner/Offentlig_hoering/ (accessed 8.25.13).
- Romero-Barrios, P. Hempen, M. Messens, W. Stella, P. Hugas M. 2013. Quantitative microbiological risk assessment (QMRA) of food-borne zoonoses at the European level. Food Control, 29, 2, 343-349.
- Rygaard, M., Albrechtsen, H.-J., 2013. Begrebsafklaring og oplæg til kvalitetskriterier for sekundavand. Kgs. Lyngby.
- Rygaard, M., Albrechtsen, H.-J., Arvin, E., Binning, P.J., 2009a. Integreret håndtering af vand og spildevand i København : Projekt A5 - A5 Opstilling af tjekliste og evaluering af afsaltnings-scenarie for København.

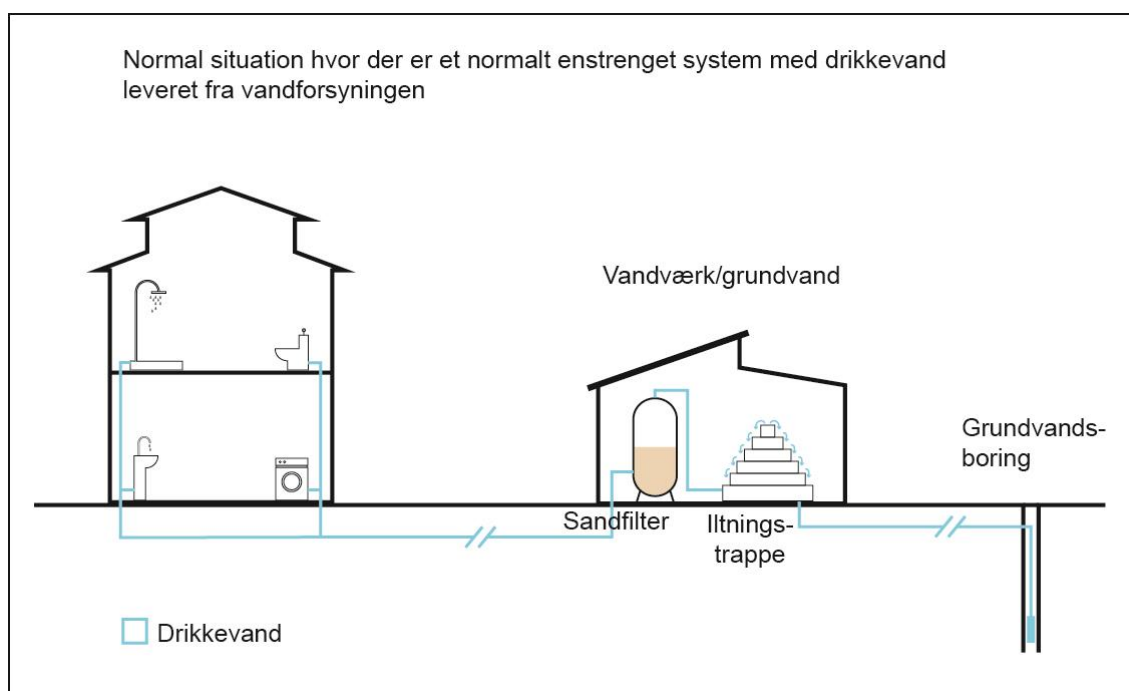
- Rygaard, M., Albrechtsen, H.-J., Binning, P.J., 2009b. Alternative Water Management and Self-Sufficient Water Supplies. IWA Publishing, London, United Kingdom.
- Semiat, R., 2008. Energy Issues in Desalination Processes. *Environ. Sci. Technol.* 42, 8193–8201.

Del 2: Uddybet analyse af koncepterne

12. Konceptbeskrivelser

Maj-Britt B. Poulsen & Kim Zambrano, HOFOR. Med input fra Grundfos, Grontmij og DTU Miljø

12.1 Business-as-usual koncept



Figur 12.1. Principskitse af traditionel vandforsyning.

12.1.1 Ressourcen og teknologien

Der forsynes med drikkevand, der er indvundet på de eksisterende kildepladser og behandlet på vandværkerne udenfor København. Vandet transporteres fra borerne på kildepladserne til vandværket, hvor det luftes i iltningstårne og filtreres i sandfiltre for at fjerne jern- og manganforbindelser.

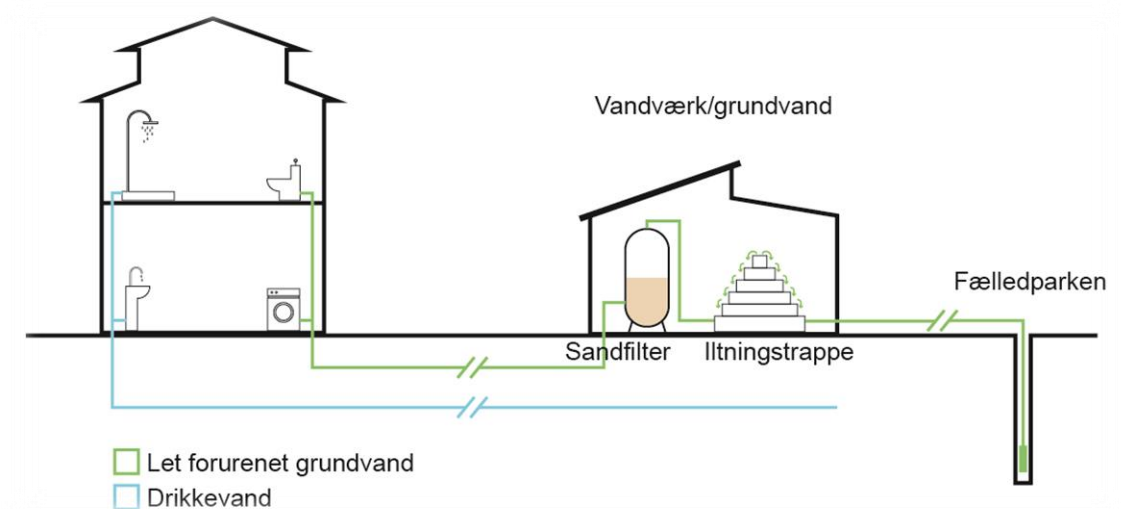
12.1.2 Processer og vandkvalitet

Råvandet indvindes fra borerne på de eksisterende værker udenfor København. Der anvendes en traditionel, simpel vandbehandling bestående af beluftning og dobbelt filtrering. Vandet transporteres til ringledningen omkring København i eksisterende transportledninger og herfra videre ud i distributionsnettet til bl.a. Nordhavn. Det leverede vand har drikkevandskvalitet.

12.1.3 Etablering af konceptet

Konceptet indebærer, at der forsynes med drikkevand til alle formål. Der etableres en forsyningsledning fra det eksisterende net i København til Nordhavnsområdet og stik til alle matrikler. Ledningsnettet dimensioneres til at husholdnings-, industri (krydstogtskibe)- og brandslukningsformål (herunder sprinkleranlæg) og under hensyntagen til forsyningens DDS-krav.

12.2 Koncept 1: Forsyning med grundvand af ikke-drikkevandskvalitet, indvundet i København



Figur 12.2. Principskitse af forsyning med drikkevand og sekundavand i dobbelt vandforsyningsnet. Let forurenet grundvand indvindes i fælledparken og leveres som sekundavand til Nordhavn. Drikkevand leveres fra Københavns almindelige vandforsyningsnet.

12.2.1 Ressourcen og teknologien

Jorden under København er pr. definition potentielt forurenet og det vil sige, at grundvandet også defineres som potentielt forurenet. Vandet antages indvundet fra grundvandsboringer i Fælledparken, da der er fysisk plads til at placere et vandværk. Der vil blive etableret backup fra det traditionelle vandforsyningssystem. En del af vandværkets funktion vil også være at udbrede viden om vandkredsløbet og forståelse for kundernes eget vandforbrug.

12.2.2 Processer og vandkvalitet

Råvandet behandles på vandværk i Fælledparken. Der anvendes en traditionel vandbehandling bestående af beluftning og enkelt filtrering. Vandet transporteres til Nordhavnen i en separat ledning. I Nordhavnen etableres dobbelte forsyningsledninger til drikkevand (som beskrevet i business-as-usual-konceptet) hhv. sekundavand.

Vandet forventes at være hygiejnisk rent, dvs. det indeholder ikke bakterier. Hvorvidt vira finder vej til grundvandet er ikke undersøgt. Det vil derimod kunne indeholde miljøfremmede stoffer. Hvorvidt vandet er egnet til at lede til kloak er under den nuværende lovgivning ikke muligt, hvis

vandet f.eks. indeholder vinylklorid. Det antages i nærværende undersøgelse, at der ikke er problemer med udledning af vandet til kloak.

Tabel 12.1. Forventet kvalitet af grundvand indvundet i Fælledparken (vurderet af HOFOR)

Parametre	Forventet forekomst		Bemærkninger
	Til stede	Ikke til stede	
Patogener		X	Frafiltreres i jorden
Chlorede opløsningsmidler	X		Værdier højere end det må komme i kloakken
Aromatiske forbindelser		X	Omsættes normalt i øverste del af jorden
MTBE	X	X	Ikke skadelige i sekundavand
NVOC	X		Forventes ikke højere end i drikkevand
Nikkel	X		Lavt niveau
Pesticider	X		Ingen problemer i sekundavand
Phenoler		(X)	Østre gasværk ligger i nærheden, men det antages at grundvandet løber mod havet og dermed ikke mod Fælledparken

12.2.3 Etablering af konceptet

Der etableres vandboringer i Fælledparken. Vandet fra boringerne ledes til et nyt vandværk som ligeledes er placeret i Fælledparken. Vandet luftes og filtreres for at fjerne jernforbindelser. Sekundavandet ledes via en forsyningsledning ud til Nordhavnen, hvor det distribueres i særskilte sekundavandsledninger/stigstrenger til ejendommenes toiletter og vaskemaskiner

12.2.4 Særlige forhold

Ved at indvinde vand i Fælledparken påvirkes grundvandsstanden i København. Dette kan både være positivt og en negativt.

Positive påvirkninger

I forbindelse med klimaforandringerne forventes det at grundvandsstanden vil stige, hvilket kan påvirke det ældre etablerede byggeri med vandindtrængen igennem fundamenter / kældergulv. Ved at indvinde vand formindskes denne risiko.

Indvindingen kan kobles sammen med klimatilpasningsprojekter, idet den øgede planlagte nedsivning af regnvand vil kunne udnyttes som en grundvandsressource.

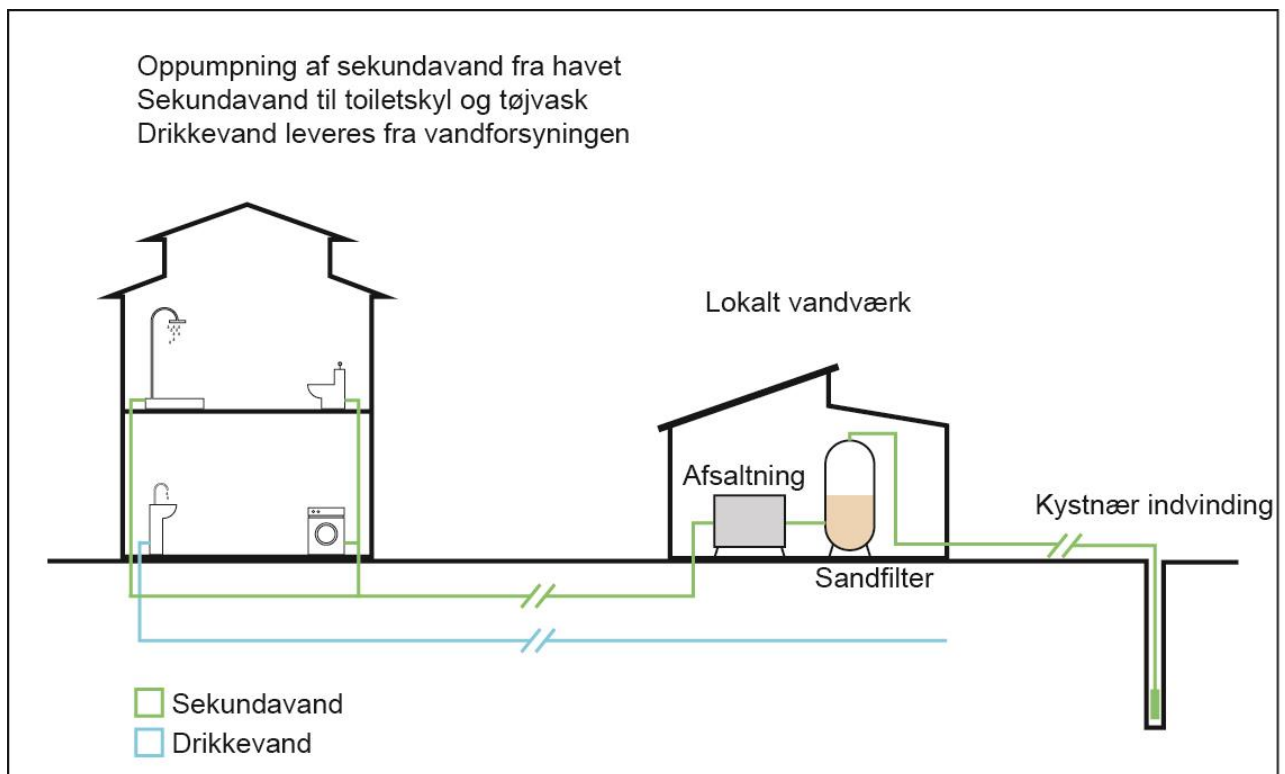
Da vi i dag gør en stor indsats for at beskytte grundvandet mod uvedkommende stoffer, vil der ved en indvinding af det lettere forurenede grundvand måske på sigt kunne skabes renere grundvand.

Negative påvirkninger

Hvis grundvandstandens niveau falder for meget vil det påvirke den ældre del af Københavns bygninger som står på pæle.

Endvidere kan man vælge at rense vandet til drikkevandskvalitet ved f.eks. kulfilter, som er en kendt og benyttet teknologi i Danmark. Derved undgår man dobbelt rørføring og risiko for evt. fejkoblinger. Dette er dog ikke med i nærværende rapport.

12.3 Koncept 2: Afsaltning af havvand til sekundavand.

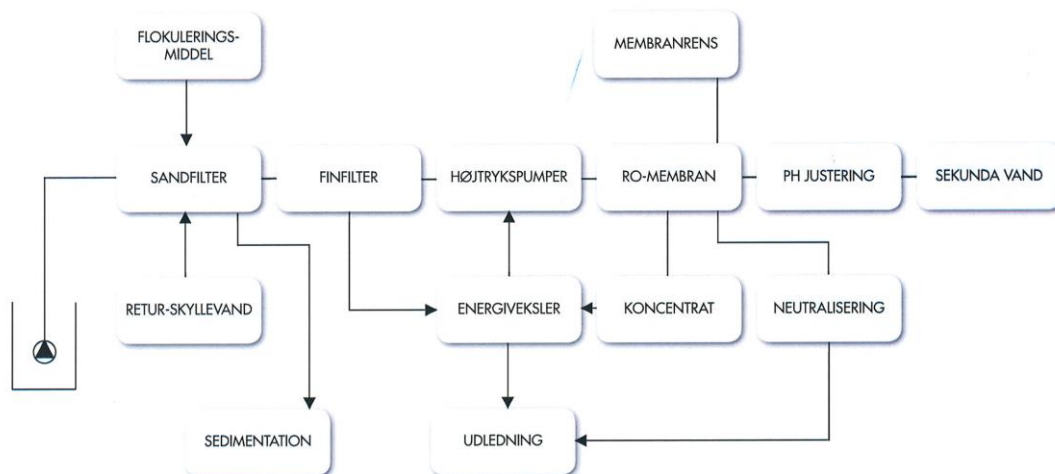


Figur 12.3. Principskitse af forsyning med afsaltet havvand som sekundavand.

12.3.1 Ressourcen og teknologi

Der etableres et grundvandsindtag i form af borerer til brakvand i Nordhavnen i umiddelbar nærhed af afsaltningsanlægget.

12.3.2 Processer og vandkvalitet



Figur 12.4. Principskitse af afsaltningsanlæg der afsalter havvand til sekundavand (Skitseret af HOH)

Afsaltningsprocessen består af følgende trin (Figur 12.4):

1. Havvandsboring

Vandet fra den kystnære boring pumpes vha. brøndpumper direkte til afsaltningsanlægget. Alternativt til en mellemtank med et sæt fødepumper.

2. Sandfilter

Første behandlingstrin er en filtrering af det indkommende havvand vha. sandfiltrering. Sandfiltrering er en simpel filtrering hvor vandet under tryk pumpes igennem et lag af sand i forskellige finheder for tilbageholdelse af partikler. For at øge effektiviteten af filtreringen kan der tilsættes et flokkuleringsmiddel, typisk et uorganisk middel som FeCl_3 , dette medvirker til at mindre partikler samles til større flokke, der lettere fjernes i sandfilteret. Herved kan der yderligere forventes en reduktion af organisk materiale. Sandfilteret har efter en given driftsperiode opsamlet stadig flere partikler og der vil derfor opbygges et stigende trykfald over filteret. Ved en given maksimumværdi returskylles filteret med vand og luft og returskyllevandet opsamles i et sedimentationsbassin, hvorfra den klare fraktion kan udledes.

3. Finfilter

For at fjerne de sidste rester af partikler filtreres vandet yderligere i et finfilter. Finfilteret er et såkaldt patronfilter, hvor patronerne udskiftes efter brug.

4. Højtrykspumper

Efter forfiltrering tryksættes en del af havvandet vha. pumper til et tryk på 30-40 bar. Pumperne udføres med frekvensomformer, der gør det muligt at regulere trykket præcist for at opnå den bedst mulige drift afhængig af vandets temperatur og saltindhold. Den resterende del af havvandet føres til trykveksleren, mere herom under pkt. 8.

5. Omvendt osmosemembraner

For at reducere saltindholdet i havvandet filtreres vandet vha. såkaldt omvendt osmose. En fysisk filtrering, hvor der benyttes en membran der er så tæt at den kun tillader det rene vand at passere. De opløste salte vil tilbageholdes næsten 100 % hvorved der produceres et saltfattigt vand der kan anvendes til drikkevand eller andre formål. Membranen er endvidere så tæt at den tilbageholder vira og bakterier, hvorfor det producerede vand vil have en meget høj kvalitet – også rent bakteriologisk. Det producerede vand benævnes permeat, og udgør ca. 40-50 % af den tilførte mængde, mens den resterende mængde benævnes koncentrat. Denne del er i realiteten et koncentreret havvand, der er filtreret for partikler. Dette koncentrat findes ved et tryk tæt på tilgangstrykket til membranerne.

6. pH-justering

Det producerede vand er som nævnt saltfattigt og fri for bakterier, men har typisk en lav pH og indeholder aggressiv CO₂ så for at undgå korrosion til sættes NaOH

7. Reservoir

Efter produktion opsamles vandet i et reservoir for lagring inden det udpumpes til forbrugerne. Udover hoved flowet er der en del hjælpesystemer der medvirker til at producere vandet med det mindst mulige energiforbrug og den mindst mulige omkostning – med hensyntagen til det omkringliggende miljø. Af vigtigste systemer kan nævnes:

8. Energiveksler

Koncentratet fra omvendt osmosemembranerne findes som nævnt ved et tryk som er tæt på det som forlader højtrykspumperne – og indeholder derfor store mængder energi. For at udnytte denne energi benyttes en hydraulisk trykveksler, der overfører trykenergien til en tilsvarende mængde frisk havvand med en effektivitet på mere end 96 %. Derved opnås en stor energibesparelse. Den mængde trykenergi som er mistet i osmosemembranerne og trykveksler tilføres med en boosterpumpe, der drives ved et tryk på typisk 3-5 bar – altså væsentligt mindre end højtrykspumpen. Efter at have passeret trykveksleren er koncentratet tæt på trykløst og kan udledes.

9. Membranrens

Efter en given driftsperiode på membranerne kan der opbygges en film af organisk eller uorganisk materiale der langsomt nedsætter kapaciteten og effektiviteten af membranerne. For at genskabe denne renses membranerne med en såkaldt CIP (Cleaning In Place). Denne består af en rens med typisk syre og lud, der cirkuleres på membranerne mens de er monteret i anlægget. Efter rens neutraliseres rensesvæsken og kan derefter udledes.

Tabel 12.2. Følgende kemikalier anvendes i forbindelse rensning af membranerne.

Typisk anvendte kemikalier	Mængder	Formål
FeCl ₃	10 g/m ³ produceret m ³	
NaOH	små	Bruges i forbindelse med rens
HCl	små	Bruges i forbindelse med rens
Citronsyre	små	Bruges i forbindelse med rens

12.3.3 Etablering af konceptet

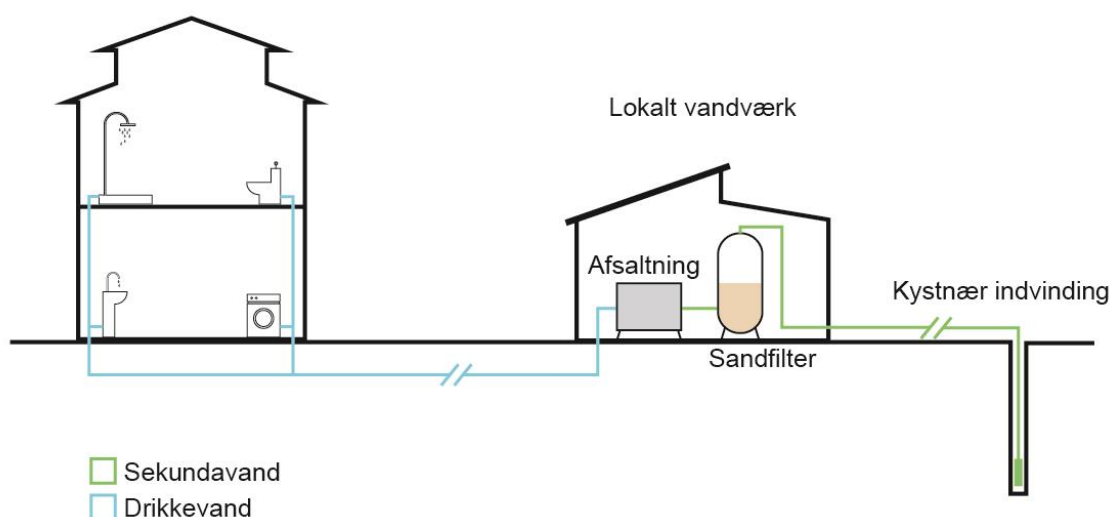
Der etableres kystnære borer i Nordhavnen. Vandet herfra ledes til et afsaltningsanlæg placeret i Nordhavnen. Herfra distribueres det afsaltede vand i særskilte sekundavandsledninger / stigstrenger til ejendommene.

12.3.4 Særlige forhold

Miljømæssige implikationer

Der kan naturligvis imødeses en forøget saltkoncentration i nærheden af stedet for udledning af koncentrat – men erfaringsmæssigt er der meget lille effekt bare 100 m fra udledningen. Endvidere er der i Øresund tale om væsentlige udsving i saltkoncentration, hvorfor en evt. lille lokal variation ikke anses for kritisk, under forudsætning af, at der vælges et sted med en gennemstrømning for udledningen.

12.4 Koncept 3: Afsaltning af havvand til drikkevandsforsyning

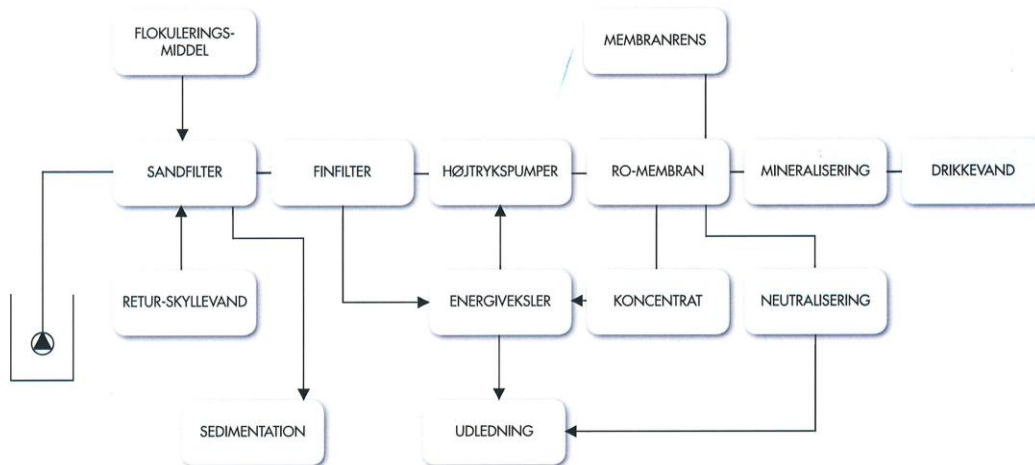


Figur 12.5. Principskitse, afsaltet havvand fra kystnær boring. Vandet leveres som drikkevand.

12.4.1 Ressourcen og teknologien

Ressourcen er den samme som i koncept 2. I forhold til teknologien tilføjes et trin med tilsætning af mineraler alternativt opblanding med drikkevand fra det traditionelle vandforsyningsnet. Produktionsanlægget bør derfor lægges tæt på det eksisterende forsyningsnet.

12.4.2 Processer og vandkvalitet



Figur 12.6. Principskitse af afsaltningsanlæg, der afsalter til drikkevandskvalitet (Skitseret af HOH)

Afsaltningsprocessen til drikkevandskvalitet er identisk med afsaltningen til sekundavand, med tilføjelse af en mineraliseringsproces (Figur 12.6). Mineraliseringsprocessen er en tilføjelse til pH-justeringsen (trin 6). Det producerede vand er som nævnt saltfattigt og fri for bakterier, men har typisk en lav pH og indeholder aggressiv CO₂, så for at undgå korrosion – og bedre smagen – tilsættes en mineraler til vandet. Tilsatte mineraler er identiske med mineraler, der forekommer naturligt i grundvand indvundet til drikkevand. Det kan fx være tilsætning af dolomit CaMg(CO₃)₂, der både hæver pH og hæver vandets hårdhed i det leverede vand.

Udover kemikalierne nævnt i afsnit 12.3 tilsættes som nævnt mineraler til vandet.

12.4.3 Etablering af konceptet

Der etableres kystnære borer i Nordhavnen. Vandet herfra ledes til et afsaltningsanlæg placeret i Nordhavnen. Herfra distribueres det afsaltede vand i ét ledningssystem til brugerne

12.4.4 Særlige forhold

Miljømæssige implikationer forventes at svare til dem nævnt i afsnit 12.3. Konceptet med at drikke afsaltet havvand kan for nogle kunder være grænseoverskridende i forhold til at drikke ”det gode gamle rene grundvand”

12.5 Koncept 4: Gråvandsgenindvinding kombineret med regnvandsopsamling

Koncept 4 indgår ikke på lige vilkår i sammenligningen med de øvrige koncepter. Konceptet bryder med det traditionelle koncept hvor vandforsyningen leveres fra en central aktør og er baseret på teknologier, der endnu er på et tidligt udviklingsstadium. Det betyder blandt andet at der hersker stor usikkerhed om de anvendte teknologier og omkostningerne forbundet med deres implementering. Konceptet er medtaget for at perspektivere mulighederne for sekundavandsanvendelse og særligt for at illustrere muligheden for at et sekundavandsinitiativ

også kan være målrettet en dansk eksport dagsorden, hvor teknologileverandører har brug for et hjemmemarked og udstillingsvindue for deres produkter.

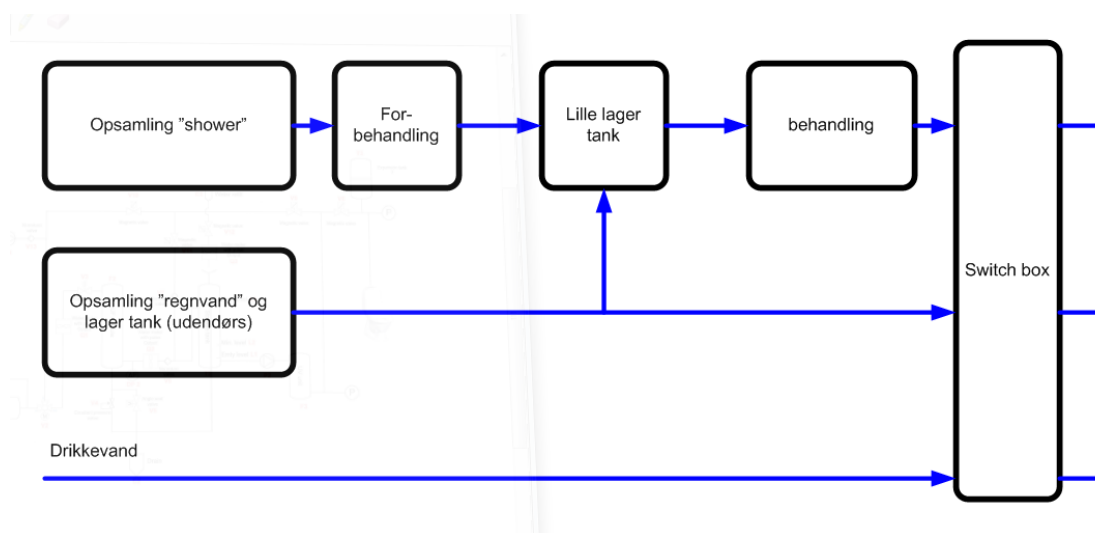
Koncept 4 er en decentral løsning til boligblokke og mindre erhvervsbygninger. Konceptet reducerer kraftigt brugen af rent drikkevand i bygninger ved hjælp af regnvand og gråt vand og målet er at reducere det samlede drikkevandsforbrug i en bygning med 80 – 90 %.

12.5.1 Principskitse

Konceptet baserer sig på ideen om kun at bruge den energi, der er nødvendig for at frembringe den vandkvalitet, som er nødvendig til de specifikke applikationer - f.eks. kræver det ikke specielt rent vand at skylle ud i et toilet.

Vandet, der skal bruges, kommer fra 3 forskellige vandkilder:

- Drikkevand fra den offentlige vandforsyning (15-20 %)
- Regnvand opsamlet fra tag-arealer (55 - 70 %)
- Gråt vand opsamlet fra bad, vaskemaskine og håndvaske (10 – 25 %)



Figur 12.7. Principskitse, der viser tre vandressourcers vej til en "switchbox", der intelligent regulerer og fordeler anvendelsen af vand i bygningen.

Konceptet består af 3 hovedkomponenter:

- Opsamlings- og lagersystem.
- Behandlingssystem.
- Intelligent distributionssystem.

Opsamlings- og lagersystemets opgave er at opsamle regnvand/gråt vand og holde det i en kvalitet, så vandet efterfølgende let kan behandles til forskellige brugssituationer.

Behandlingssystemets opgave er at behandle det opbevarede vand til den kvalitet, som efterspørges i bygningen (filter, UV m.m.).

Det intelligente distributionssystems opgave er at sikre, at der altid er vand med den rigtige komfort og kvalitet. Ved vandmangel skal systemet sikre, at der disponeres rigtigt mellem de forskellige vandkilder, og at brugeren er opdateret på situationen. Systemet slår automatisk

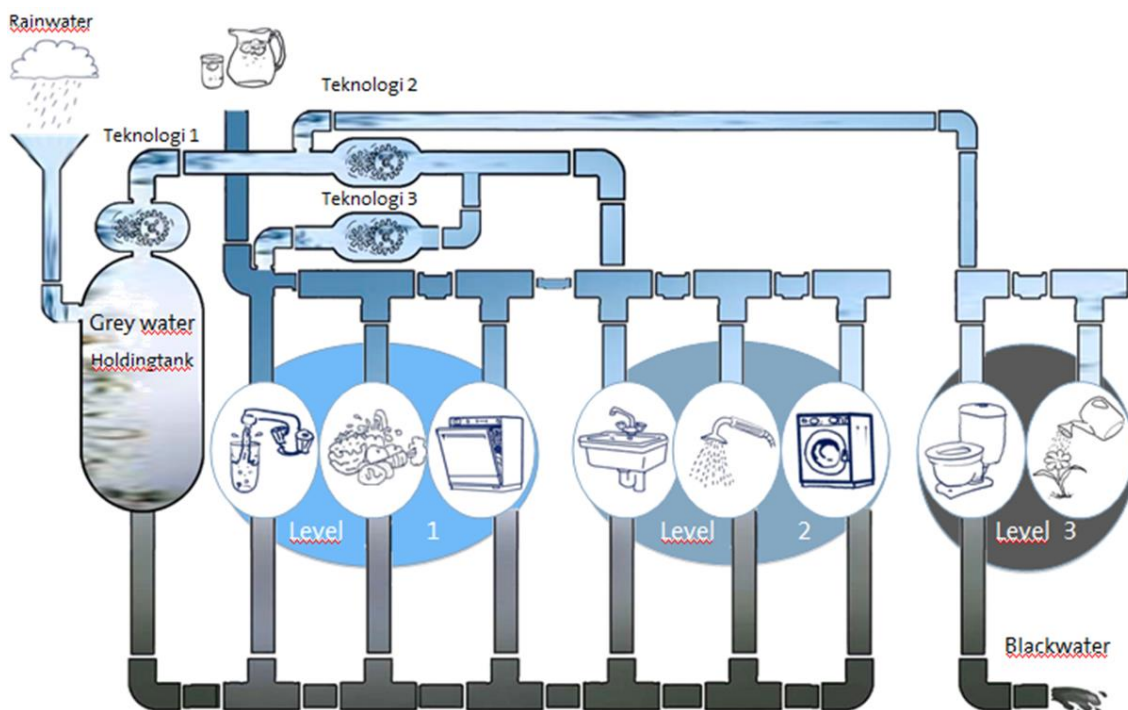
over på drikkevandsforsyningen til de sekundære forbrugere, hvis der ikke er regnvand eller gråt vand i systemet. Brugeren gøres opmærksom på det via en app på deres smart phone, hvor der også vises en prognose, som er baseret på systemlæring og data fra et vejrcenter om, hvornår man kan forvente at kunne køre på sekundær vand igen og dermed måske udskyde sit forbrug.

Vandet fra toiletter, opvaskemaskiner og køkkenvaske genbruges ikke.

12.5.2 Anvendelse af vandet

Der arbejdes med 3 forskellige kvalitetsniveauer:

- Rent drikkevand bruges til: Drikke, madlavning og opvask.
- Gråt vand og regnvand bruges til: Toiletskyl, tøjvask, brugsvand m.m.
- Regnvand bruges ubehandlet til: Bilvask, havevanding m.m.



Figur 12.8. Vandstrømme i koncept 4 og tilhørende vandkvalitetsniveauer 1-3.

12.5.3 Særlige forhold

Udvikling og implementering af systemer, som skitseret i koncept 4 kræver nye regler og lovgivning, som målrettet understøtter udviklingen og anvendelse af alternative vandressourcer. Dette skyldes at systemerne ikke forventes at være konkurrencedygtige på nuværende markedsvilkår. Politisk og lovgivningsmæssig støtte har hjulpet andre teknologier frem, fx solceller. Derudover er en række særlige forhold omkring definition af vandkvaliteter, teknologiudviklingspotentialer og tekniske udfordringer i forbindelse med bakterievækst og spildevandsafledning, nævnt i 12.

Koncept 4 indgår ikke på lige vilkår i sammenligningen med de øvrige koncepter. Konceptet bryder med det traditionelle koncept hvor vandforsyningen leveres fra en central aktør og er

baseret på teknologier, der endnu er på et tidligt udviklingsstadium. Det betyder blandt andet at der hersker stor usikkerhed om de anvendte teknologier og omkostningerne forbundet med deres implementering. Konceptet er medtaget for at perspektivere mulighederne for sekundavandsanvendelse og særligt for at illustrere muligheden for at et sekundavandsinitiativ også kan være målrettet en dansk eksport dagsorden, hvor teknologileverandører har brug for et hjemmemarked og udstillingsvindue for deres produkter.

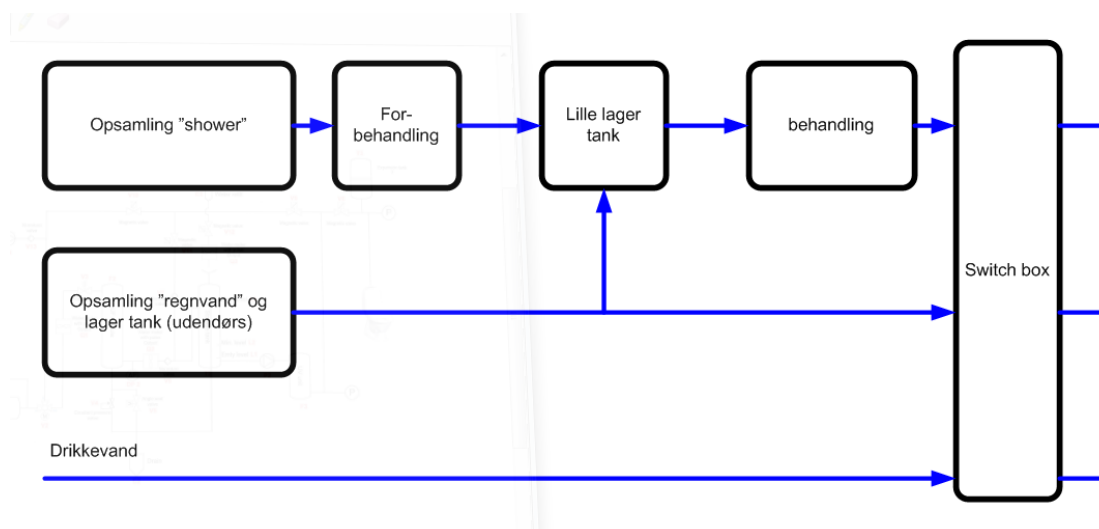
Koncept 4 er en decentral løsning til boligblokke og mindre erhvervsbygninger. Konceptet reducerer kraftigt brugen af rent drikkevand i bygninger ved hjælp af regnvand og gråt vand og målet er at reducere det samlede drikkevandsforbrug i en bygning med 80 – 90 %.

12.5.4 Principskitse

Konceptet baserer sig på ideen om kun at bruge den energi, der er nødvendig for at frembringe den vandkvalitet, som er nødvendig til de specifikke applikationer - f.eks. kræver det ikke specielt rent vand at skylle ud i et toilet.

Vandet, der skal bruges, kommer fra 3 forskellige vandkilder:

- Drikkevand fra den offentlige vandforsyning (15-20 %)
- Regnvand opsamlet fra tag-arealer (55 - 70 %)
- Gråt vand opsamlet fra bad, vaskemaskine og håndvaske (10 – 25 %)



Figur 12.9. Principskitse, der viser tre vandressourcers vej til en "switchbox", der intelligent regulerer og fordeler anvendelsen af vand i bygningen.

Konceptet består af 3 hovedkomponenter:

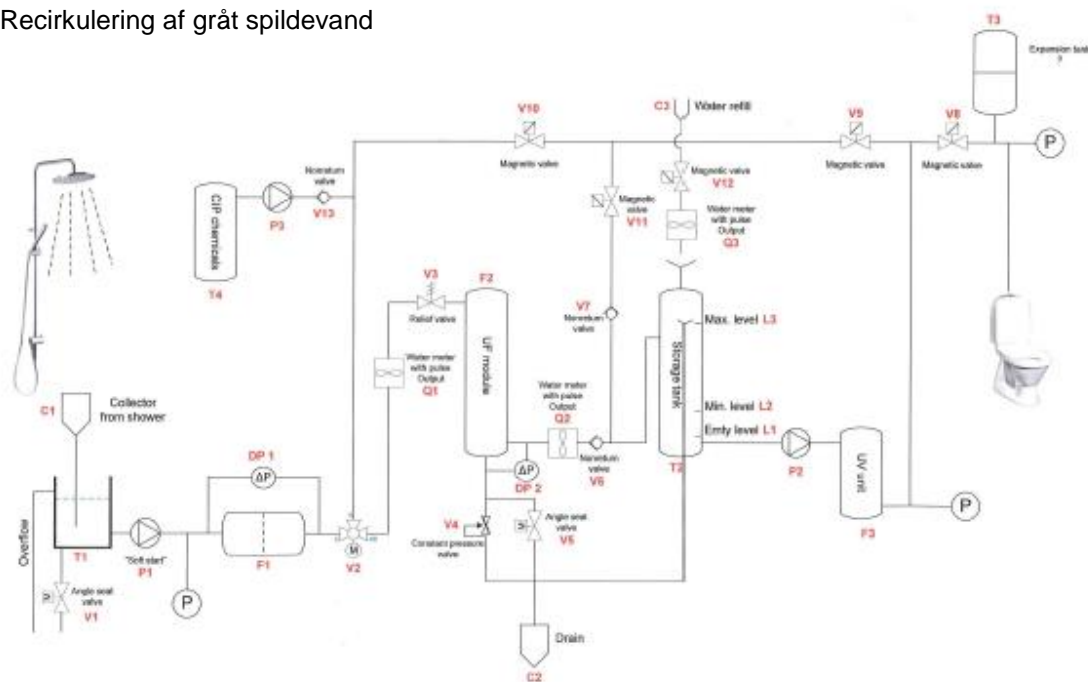
- Opsamlings- og lagersystem.
- Behandlingssystem.
- Intelligent distributionssystem.

Opsamlings- og lagersystemets opgave er at opsamle regnvand/gråt vand og holde det i en kvalitet, så vandet efterfølgende let kan behandles til forskellige brugssituationer. Behandlingssystemets opgave er at behandle det opbevarede vand til den kvalitet, som efterspørges i bygningen (filter, UV m.m.).

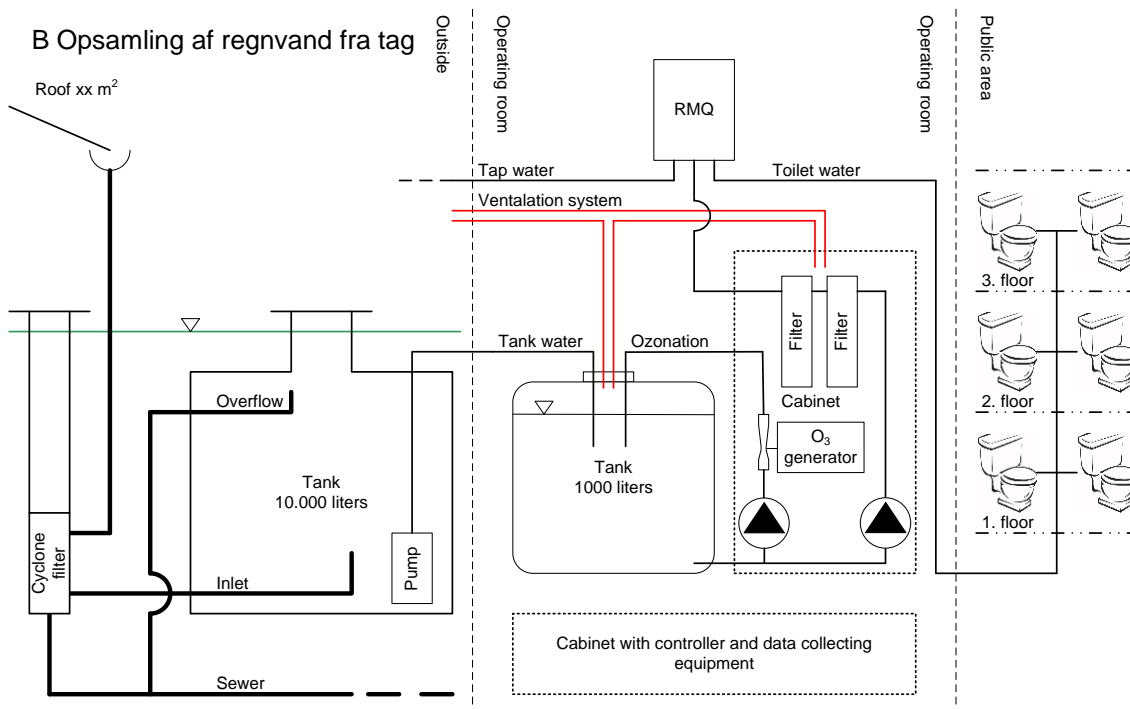
Det intelligente distributionssystems opgave er at sikre, at der altid er vand med den rigtige komfort og kvalitet. Ved vandmangel skal systemet sikre, at der disponeres rigtigt mellem de forskellige vandkilder, og at brugeren er opdateret på situationen. Systemet slår automatisk over på drikkevandsforsyningen til de sekundære forbrugere, hvis der ikke er regnvand eller gråt vand i systemet. Brugeren gøres opmærksom på det via en app på deres smart phone, hvor der også vises en prognose, som er baseret på systemlæring og data fra et vejrcenter om, hvornår man kan forvente at kunne køre på sekundær vand igen og dermed måske udskyde sit forbrug.

Vandet fra toiletter, opvaskemaskiner og køkkenvaske genbruges ikke.

A Recirkulering af gråt spildevand



B Opsamling af regnvand fra tag

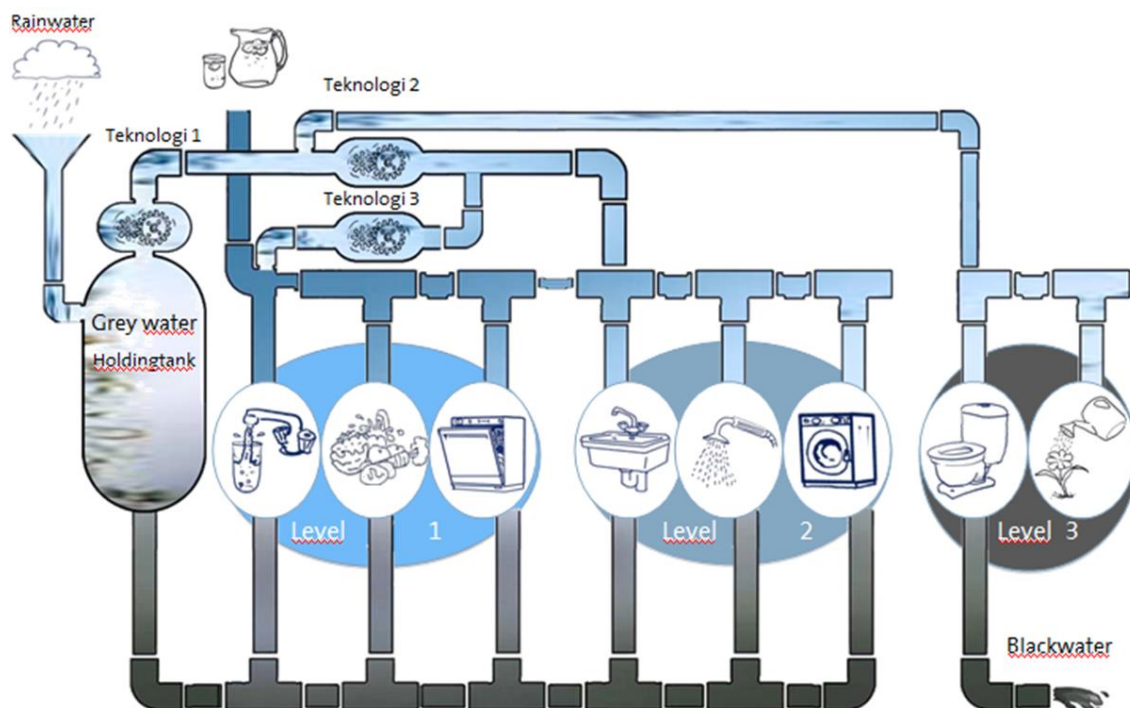


Figur 12.10. Koncept 4 baserer sig på en ide om at kombinere lokal recirkulering af gråt spildevand (A) med opsamling af regnvand (B).

12.5.5 Anvendelse af vandet

Der arbejdes med 3 forskellige kvalitetsniveauer:

- Rent drikkevand bruges til: Drikke, madlavning og opvask.
- Gråt vand og regnvand bruges til: Toiletskyl, tøjvask, brugsvand m.m.
- Regnvand bruges ubehandlet til: Bilvask, havevanding m.m.



Figur 12.11. Vandstrømme i koncept 4 og tilhørende vandkvalitetsniveauer 1-3.

12.5.6 Ressourcen og teknologi

Regnvand fra taget opsamles i store underjordiske tanke. (Vand fra arealer og p-plads bruges ikke, da vandkvaliteten er for dårlig og typisk indeholder tungmetaller).

Gråt vand opsamles fra håndvaske, vaskemaskiner og bad i mindre tanke og behandles løbende under lagring.

Drikkevandet kommer direkte fra det lokale forsyningsselskab og sendes direkte til de drikkevandskritiske brugssteder (drikkevand og opvaskemaskiner). Ved hjælp af det intelligente distributionssystem og et air gab-modul sikres, at der altid kan sendes drikkevand til sekundære applikationer, hvis de sekundære ressourcer er tomme.

De 3 vandkilder giver mulighed for optimeret behandling til de specifikke brugssituationer, hvilket vil reducere renseomkostningerne.

De teknologier, der i øjeblikket er til rådighed, kan ikke behandle vandet til en konkurrencedygtig pris i forhold til almindelig grundvand. Det er hovedsageligt prisen til energi (tryktab over filter, energi forbrug til UV og ozonteknologier), som giver de høje energiomkostninger, men også service-omkostningerne og installeringsprisen er høj.

Følgende teknologier indgår:

- UV-lys
- Ozon-generator
- UF-filter
- RMQ air gab
- Sensorer og kontrolsystem
- Pumper
- Tanke
- Rør med flere kanaler både til det behandlede vand og til spildevandet.











På teknologiområdet arbejdes der med Forbehandling af regnvandet, inden det kommer i tanken (behandling på vej ned gennem nedløbsrøret), vil kunne reducere "fauling" i opsamlingsstanken. Dette vil medføre reduceret energiforbrug og service-behov til tanke, filter og rør.

På UV-området arbejdes der med LED-løsninger, som vil reducere energiforbruget med en faktor 100.

Tryktabet over filteret kan reduceres med nye pumpekontrolstrategier, som er optimeret i forhold til filterapplikationer. Gevinsten er energibesparelse og mindre service på filteret.

12.5.7 Processer og vandkvalitet

Konceptet baserer sig på forskellige vandkvaliteter til forskellige brugssituationer, hvorfor der er behov for en definition af, hvad forskellige vandkvaliteter er, og hvor de kan bruges.

Level 3		Level 2				Level 1			
	Typical indhold								
	<ul style="list-style-type: none">•Turbidity•Color•Bacteria•Heavy metals•Summer•Beir in•Polluted dity•First flush	<div>Require</div> <ul style="list-style-type: none">• Bacteria	<div>Comfort</div> <ul style="list-style-type: none">• Turbidity• Color• Smell	<div>Require</div> <ul style="list-style-type: none">• Bacteria• pH	<div>Comfort</div> <ul style="list-style-type: none">• Turbidity• Color• Smell• pH	<div>Require</div> <ul style="list-style-type: none">• Bacteria• CO₂• Nutrient• pH	<div>Comfort</div> <ul style="list-style-type: none">• Turbidity• Color• Smell• pH	<div>Require</div> <ul style="list-style-type: none">• Bacteria• CO₂• Nutrients• pH	<div>Comfort</div> <ul style="list-style-type: none">• Turbidity• Color• Smell• pH
	<ul style="list-style-type: none">•Pb•Cu•Zn (up to 100 ppm)	<div>Require</div>	<div>Comfort</div> <ul style="list-style-type: none">• Color• Turbidity	<div>Require</div>	<div>Comfort</div> <ul style="list-style-type: none">• Color• Turbidity	<div>Require</div> <ul style="list-style-type: none">• Cu 2 ppm• Pb 0.05 ppm• Zn 5 ppm	<div>Comfort</div> <ul style="list-style-type: none">• Color• Turbidity	<div>Require</div> <ul style="list-style-type: none">• Cu 2• Pb 0.05• Zn 5	<div>Comfort</div> <ul style="list-style-type: none">• Color• Turbidity
	<ul style="list-style-type: none">•Switzerland•Ger many•Sweden	<div>Technolgy</div> <ul style="list-style-type: none">• Filtration	<div>Technolgy</div>	<div>Technolgy</div> <ul style="list-style-type: none">• Filtration	<div>Technolgy</div> <ul style="list-style-type: none">•Filtration	<div>Technolgy</div> <ul style="list-style-type: none">• Adsorption•RO•EC	<div>Technolgy</div>	<div>Technolgy</div> <ul style="list-style-type: none">• Adsorption•RO•EC	<div>Technolgy</div> <ul style="list-style-type: none">•Filtration
	<ul style="list-style-type: none">•Germany•Australia•Winter•After first flush•Frequent rain	<div>Require</div>	<div>Comfort</div>	<div>Require</div>	<div>Comfort</div>	<div>Require</div> <ul style="list-style-type: none">• Bacteria	<div>Comfort</div>	<div>Require</div> <ul style="list-style-type: none">• Bacteria	<div>Comfort</div>
		<div>Technolgy</div>	<div>Technolgy</div>	<div>Technolgy</div>	<div>Technolgy</div>	<div>Technolgy</div> <ul style="list-style-type: none">• UV• Ozone• Chemicals	<div>Technolgy</div>	<div>Technolgy</div> <ul style="list-style-type: none">• UV• Ozone• Chemicals	<div>Technolgy</div>

12.5.8 Etablering af konceptet

På nuværende tidspunkt har Grundfos etableret et system til regnvand og et system til gråt vands behandling to forskellige steder i Bjerringbro.

De to systemer er endnu ikke kombineret til et system, og det intelligente distributionssystem er endnu ikke udviklet. De enkelte systemer kan naturligvis altid installeres som selvstændige enheder - dette vil dog ikke give den optimale vandbesparelse.

12.5.9 Særlige forhold

Udvikling og implementering af systemer, som skitseret i koncept 4 kræver nye regler og lovgivning, som målrettet understøtter udviklingen og anvendelse af alternative vandressourcer. Dette skyldes at systemerne ikke forventes at være konkurrencedygtige på nuværende markedsvilkår. Politisk og lovgivningsmæssig støtte har hjulpet andre teknologier frem, fx solceller.

Forslag til vandkvaliteter

Water quality level	Human contact risk	Quality target
Level 1	Intended for consumption directly or indirectly	Drinking water quality
Level 2	Risk of incidental oral intake Direct or indirect skin contact expected	Primary quality parameter Fecal coli form: $\leq 10/\text{ml}$ Total coli forms $\leq 100/\text{ml}$ Secondary quality parameters $\text{BOD } 5 < 10 \text{ mg/l}$ (or $\text{COD} < 50 \text{ mg/l}$) aesthetics (Color, smell, must not be objectionable) Turbidity: $\leq 2 \text{ NTU}$ pH: 6–9 Tertiary Quality parameters TN: $\leq 1.0 \text{ mg/l}$ TP: $\leq 0.05 \text{ mg/l}$
Level 3	Low risk of incidental oral intake. Low risk of skin contact	Primary quality parameter Fecal coli forms $\leq 100/\text{ml}$ Total coli forms $\leq 1000/\text{ml}$ Secondary quality parameters $\text{BOD } 5 < 30 \text{ mg/l}$ (Or $\text{COD} < 150 \text{ mg/l}$) aesthetics (Color, smell, must not be objectionable) Tertiary Quality parameters TN: $\leq 1.0 \text{ mg/l}$ TP: $\leq 0.05 \text{ mg/l}$ TSS: $\leq 30 \text{ mg/l}$ pH: 6–9

Service

Et system med tanke og filter vil altid stille krav om service. Tankene skal rengøres og filteret efterses og evt. renses. Der er en risiko for, at dette ikke bliver gjort, og der bør derfor arbejdes med servicesystemer, som vi kender fra f.eks. skorstensfejere, der pr. automatik renser og kontrollerer systemet.

Bakterievækst

En af de store udfordringer i anvendelse af regnvand og gråt vand er bakterievækst. Det er umuligt at undgå bakterier i systemet. Den lette løsning ville være at bruge kemi, f.eks. klor. Principielt bryder Grundfos sig ikke om at bruge kemi, men der ses ikke andre løsninger i øjeblikket end at skylle systemerne med klor. Dette sker på samme måde som i mange svømmerhaller, hvor man én gang om ugen skyller rørsystemet med varmt vand tilsat klor for at fjerne bakterier.

Rør

Man kan argumentere for, at det er vanskeligt og farligt at trække forskellig rørsystemer, og man risikerer at blande rent drikkevand med sekundært vand. Man siger det samme om elkabler; der er specielle kabler til 220 volt, andre til 3-faset stærkstrøm, andre igen til telefon og internet. Det er udelukkende et spørgsmål om tradition, træning, de rigtig rørløsninger og lovgivning.

Spildevandsafledning

Mængden af spildevand reduceres kraftigt, og hele kloaksystemet skal derfor optimeres til dette. Rørdimensioner, pumpestationer og den højre koncentration vil få indflydelse på rensningsanlæggene.

13. Sundhedsrisici

Claus Jørgensen, DHI

Formålet med at gennemføre denne kvantitative mikrobielle risikovurdering er at undersøge hvilke kvalitetsmæssige krav, der skal stilles til vandets kvalitet for, at de sundhedsmæssige risici forbundet med anvendelse af sekundavand i Nordhavnen er acceptable.

Vurderingen tager udgangspunkt i de koncepter, der er beskrevet ovenfor. Koncept 3, Afsaltning af havvand til drikkevandsforsyning er i risikosammenhæng som "business-as-usual" konceptet, idet det antages, at der leveres vand af drikkevandskvalitet. De 3 (4) koncepter, der analyseres, er:

- 0: Business-as-usual
- 1: Forsyning med grundvand af ikke-drikkevandskvalitet, indvundet i København
- 2: Afsaltning af havvand til sekundavand.
- (4: Gråvandsgenindvinding kombineret med regnvandsopsamling. Ikke vurderet)

Det antages, at der etableres et separat distributionssystem til sekundavand.

Der anvendes kvantitativ mikrobiel risikovurdering kombineret med Monte Carlo simulering. Ved denne metode antages input parametre (f.eks. dosis) at variere. Med Monte Carlo simuleringen gennemføres beregningerne mange gange ved at "plukke" tilfældige værdier af de varierende input parametre. Resultatet bliver hermed også varierende. Metoden står i modsætning til punkt estimer, og har den fordel, at det giver et bedre indtryk af variation og usikkerhed.

Anvendelsen af sekundavand vurderes i forhold til to koncepter: tøjvask og toiletskyl. Denne vurdering angår hypotetiske fremtidige koncepter for anvendelse af sekundavand. Der foreligger derfor ikke analyser af vandets kvalitet, rensningseffektivitet etc. I stedet er risikoen beregnet for hypotetiske vandkvaliteter og sat i forhold til en "acceptabel" risiko. På baggrund heraf af kan det vurderes, om der kan leveres en acceptabel vandkvalitet. Risikoen er vurderet i forhold til 1 organisme, Norovirus, som er den virus flest bliver syge af mht. maveinfektioner og hyppigt forekommer i drikkevand, og som kunne være tilstede i sekundavand. Dette arbejde omfatter således kun den del af risikoen, der vedrører Norovirus.

Norovirus kan smitte via vand men også mellem personer. I denne analyse er der kun taget stilling til den primære infektion via vand. Sekundære infektioner via fødevarer eller direkte mellem mennesker er ikke medtaget.

Umiddelbart vil man vurdere, at risikoen for infektion ved toiletskyl og tøjvask er meget lille og acceptabel, da det vil være meget lidt vand, man vil kunne komme til at indtage. Der er imidlertid en grænse for, hvor dårlig vandets kvalitet kan være før, risikoen er uacceptabel. Spørgsmålet er, hvor denne grænse går, og om det vand, der leveres, kan overholde denne grænse.

Risikovurderingen er en mikrobiel risikovurdering, altså en vurdering af risikoen for at blive syg på grund af sygdomsfremkaldende mikroorganismer. For risikoen relateret til kemikalier henvises til Corfitzen og Albrechtsen, 2010.

13.1 Fareidentifikation og skadelige hændelser

13.1.1 Indhold af organismer i spildevand.

Tre grupper af mikroorganismer anses normalt for at udgøre en risiko i forbindelse med vandforsyning. Det er bakterier, virus og parasitter. Bakterier er f.eks. *Campylobacter* og *Salmonella*. Virus er f.eks. Hepatitis A og Norovirus. Parasitter er f.eks. *Giardia* og *Cryptosporidium*. Disse organismer stammer oftest fra fækal forurening, hovedsageligt spildevand. Koncentrationen i spildevand varierer meget (flere logenheder). Variationen afhænger bl.a. af hvor stor en del af befolkningen, der er inficeret. Derudover er der en relativ stor usikkerhed forbundet med tallene pga. anvendelse af forskellige metoder, analytisk usikkerhed og sparsomt datagrundlag, herunder hvorvidt detekterede organismer er levende og kan inficere. Typiske litteraturværdier for koncentrationer af disse organismer i spildevand fremgår af tabel 1.

Tabel 13.1: Typiske koncentrationer af patogener og indikatorbakterier i urensset spildevand.

Organisme	Koncentration /100 ml Mest sandsynlige, i () er angivet hvor de fleste litteratur værdier ligger)	Referencer
E. coli (indikator)	$5 \cdot 10^6$ (10^6 - 10^8)	Erichsen et al. 2006., Kistemann et al. 2008.
Enterococci (Indikator)	$7 \cdot 10^5$ (10^4 - 10^7)	Erichsen et al. 2006., Kistemann et al. 2008. Hellein et al 2011
Campylobacter	5000 (10^3 - 10^7)	Hellein et al 2011, Henze et al., 2008. Schreiber 2011
E. coli O157:H7	150	García-Aljaro et al 2005
Salmonella	500 (få - 10^5)	Henze et al, 2008. Lemarchand and Lebaron 2003
Cryptosporidium	10 (< 1 – 1000)	Mølgaard et al 2002. Castro et al 2006. Gennarccaro et al 2003, Payment et al 2001, Ottoson 2004. Robertson et al. 2000. Dungeni and Momba, 2010.
Giardia	100 (<1 – 1000)	Robertson et al. 2000, Henze 2008. Kistemann et al 2008. Castro et al 2006. Dungeni and Momba, 2010.
Norovirus	10^5 om vinteren (i.d. til 10^7) 10^2 om sommeren (i.d. til 10^5)	Ottoson 2004, da Silva et al 2007, Haramoto et al 2006. Hewitt et al 2011 Nordgren et al 2009.

i.d.: ikke detekteret

Koncept 2: Afsaltning af havvand til sekundavand

Konceptet for afsaltning af havvand indeholder indvinding af brakvand fra en havnenær boring og en efterfølgende afsaltning ved omvendt osmose. Risikoen for at det producerede vand indeholder sygdomsfremkaldende mikroorganismer, anses for at være meget lille. Det kan tænkes, at en kloak løber over til havnen i forbindelse med kraftig regn og forurener området ved indvindingen. I forhold til spildevand i en tørvejrssituation vil overløbsvandet være fortyndet og efter udledningen vil det fortyndes yderligere. I 2010, hvor mange triatleter blev syge efter et overløb, blev fortyndingen vurderet til at være 0,0013 % svarende til reduktion på ca. 5 log₁₀ enheder (Andersen et al. submittet), og kan betragtes som en slags worst case hændelse. Ved indvindingen antages det, at vandet trækkes igennem et lag af sand. Denne situation svarer til "bank filtration". Ved bank filtration observeres der typisk reduktioner mellem 3 og >5 log₁₀ enheder (National Research Council, 2012). Det vil sige, at der fra et spildevandsoverløb til vandet er pumpet op, typisk vil ske en samlet reduktion på 8 – >10 log₁₀ enheder svarende til et worst case scenario på 10⁻³ til < 10⁻⁵ Norovirus/100 ml inden afsaltning om vinteren og 3 logenheder mindre om sommeren, svarende til den anslåede koncentration i typisk dansk drikkevandsforsyning (se afsnit Koncept 0). Ved afsaltningen forventes en yderligere reduktion 3 til 7 log₁₀ enheder (WHO 2011). Det antages derfor, at det afsaltede vand mikrobielt set er sikkert, selv hvis afsaltningen svigter. Anvendelse af afsaltet havvand til tøjvask og toiletskyl forventes derfor ikke at give anledning til risiko for smitte ud over den, der er i 0 - konceptet.

Koncept 1: Forsyning med grundvand af ikke-drikkevandskvalitet, indvundet i København

I dette koncept indvindes sekundavand i Fælledparken, hvor der etableres et vandværk. Der anvendes en traditionel vandbehandling bestående af beluftning og enkelt filtrering. Det forventes, at grundvandet er frit for sygdomsfremkaldende mikroorganismer. Det kan dog ikke helt udelukkes, at der sker en fækal forurening af grundvandet f.eks. i forbindelse med arrangementer i Fælledparken. Det vurderes, at den største risiko er forbundet med virus, idet de antages at kunne transporteres længere end bakterier og parasitter, som er væsentlig større. En række undersøgelser har f.eks. vist, at grundvand kan være forurenet med virus og drikkevand kan være forurenet med sygdomsfremkaldende virus. Abbaszadegan et. al (2003) fandt, at 31,5 % af undersøgte drikkevandsboringer var positive for virus-DNA. Bradbury et al. (2012) fandt at der var virus-gener i 67 ud 147 prøver fra 6 dybe drikkevandsboringer, med en middelværdi på 0,7 genkopier/L i de positive prøver. Borchardt et al. (2012) undersøgte 14 mindre offentlige grundvandforsyninger i Wisconsin, USA, som ikke desinficerede vandet, for forurening med virus ved q-PCR. Der blev påvist virus i alle vandforsyninger. I alt 24% af 1204 prøver fra vandhaner var positive. Undersøgelsen kunne samtidig vise, at incidensen af "acute gastrointestinal illness (AGI)" var høj når koncentrationen af virus var høj. Endvidere er det vist, at f.eks. Norovirus kan overleve længe i grundvand. Et laboratoriestudium (Seitz et al. 2012) har vist, at Norovirus kan detekteres i mere end 3 år efter at være tilsat til grundvand, og at de er i stand til at inficere mennesker i mere end 61 dage efter at være tilsat grundvand.. Traditionel sandfiltrering, som det er foreslået i dette koncept, vurderes ikke at fjerne Norovirus i nævneværdig grad. Der er derfor en teoretisk mulighed for, at der kan være Norovirus eller andre vira til stede i vand indvundet fra Fælledparken.

I denne risikovurdering vil vi derfor anvende Norovirus som modelorganisme. Norovirus er den hyppigst forekommende ikke bakterielle årsag til maveinfektioner. Den giver roskildesygge med diarré og eller opkastning kombineret med andre symptomer som mavesmerter, træthed,

hovedpine etc. Infektion defineres ved seroconversion, dvs at der kan måles antistoffer mod virus i blodet, og detektion af virus i afføring. (Teunis et al. 2008)

Koncept 0: Business-as-usual.

For at vurdere størrelsen af risici, skal de holdes op mod de risici, der er forbundet med et business-as-usual-koncept, hvor der anvendes drikkevand som normalt.

I business-as-usual konceptet overholder vandet som udgangspunkt drikkevandsbekendtgørelsens krav, dvs. at vandet skal være fri for sygdomsfremkaldende organismer. Hvis der ikke er sygdomsfremkaldende organismer tilstede i vandet er risikoen i princippet 0. I praksis måler man ikke de sygdomsfremkaldende organismer. I stedet måles indikatorer for fækal forurening, bl.a. *E. coli*. Kravet er, at der ikke må detekteres *E. coli* i 100 ml prøver. Det er imidlertid ikke altid, at bekendtgørelsens krav overholdes, så der er en, om end lille, risiko. I København er der fra 1/1 2005 til 1/3 2013 udtaget 1962 prøver på de normale prøvetagningssteder. Af disse var 6 prøver positive for *E. coli* (5 med 1 /100 ml og 1 med 2/100). De 6 prøver stammede fra 3 prøvesteder, som får vand fra Tinghøj, i august 2010, og er sat i forbindelse med en utæt beholder på Tinghøj (Pedersen, 2013) For dette koncept antages derfor, at der er en gennemsnitlig koncentration på $(5+2)/1962 = 3,6 \cdot 10^{-3}$ *E. coli*/100 ml. Der er i dag en UV barriere ved Tinghøjbeholderen. Sandsynligheden for tilstedeværelse af *E. coli* må derfor antages at være mindre i dag. Nørrebrohændelsen blev ikke opdaget som en del af det normale prøvetagningsprogram og er derfor ikke medtaget her.

Hvis de *E. coli*, der detekteres, stammer fra spildevand, vil der også være en risiko for, at der er Norovirus til stede. Antages det, at koncentrationerne af *E. coli* og Norovirus er, som angivet i tabel 1, så vil en gennemsnitlig Norovirus koncentration i drikkevandet være $7,1 \cdot 10^{-5}$ norovirus/100 ml om vinteren og $7,1 \cdot 10^{-8}$ norovirus/100 ml om sommeren. Hvis de *E. coli*, der detekteres, ikke stammer fra spildevand, men fra dyr, vil koncentrationen af humane sandsynligvis være væsentlig mindre, idet kun mennesker anses for at være vært for human Norovirus. (Glass et al, 2009) Der kendes ikke kilder til spildevand ved Tinghøjbeholderen. Derfor er der størst sandsynlighed for, at de *E. coli*, der er detekteret, ikke stammer fra spildevand. Business-as-usual konceptet anses for at være et "worst case" scenarium. Vi vil i K0 Business-as-usual anvende en gennemsnitlig koncentration, der er ligeligt fordelt mellem $7,1 \cdot 10^{-5}$ norovirus/100 ml og $7,1 \cdot 10^{-8}$ norovirus/100 ml.

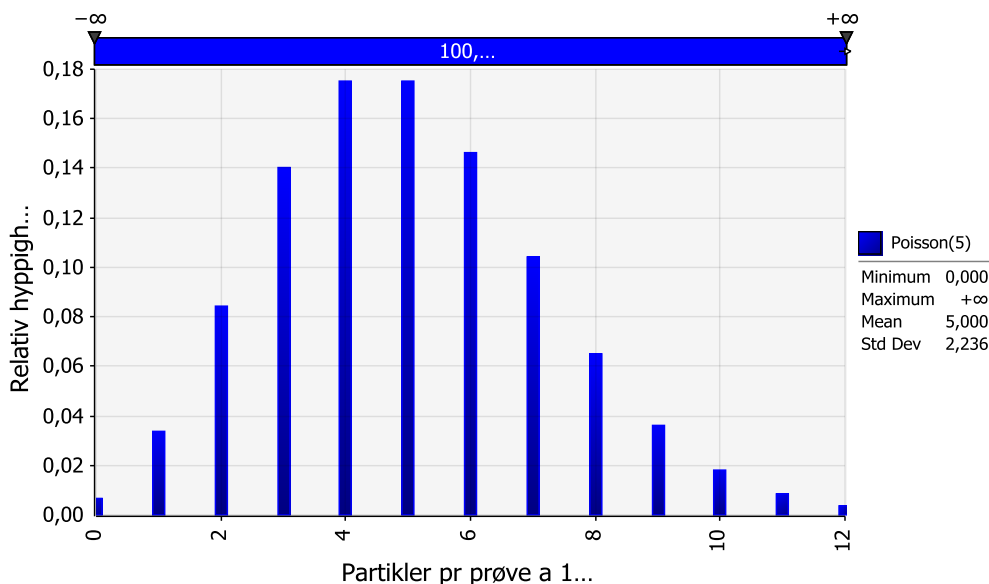
Fejltilslutning:

Fejltilslutninger er en af de væsentligste risici ved anvendelse af sekundavand. Adeler og Harremoës, (2000) angiver at risikoen for fejltilslutninger i huse væsentlig både ved anvendelse af regnvand og gråvand. En hollandsk undersøgelse viste ligeledes, at risikoen for fejltilslutninger er stor, hvilket har medført, at man i Holland ikke er positiv over for to-ledningssystemer (Oesterholt et al 2007). I Environment Protection and Heritage Council (2006) angives risikoen for fejltilslutning at være 1:1000 pr bolig, mens Storey et al. (2007) vurderer en gennemsnitlig risiko til at være 1:10.000 pr bolig. Vi vil her anvende en ligelig fordeling af risiko for fejltilslutning på mellem 1:1000 og 1:10.000 pr bolig.

13.2 Eksposering

13.2.1 Fordeling i vand

Eksposeringen beregnes ud fra indtagelse af vand. Partikler, herunder mikroorganismer, i vand kan ikke beskrives ved en kontinuert funktion. Hvis partikler er jævnt fordelt i vand, vil partikel koncentrationen i prøver der udtages ved lave koncentrationer være poisson fordelt. Figur 13.1 viser et eksempel på fordelingen af hvor mange partikler, der kan forventes i 1 ml prøver ved en gennemsnitlig koncentration på 5 partikler pr ml.



Figur 13.1: Teoretisk fordeling af partikler i vand. Poisson fordeling med et gennemsnit på 5 partikler/ml. (Udregnet vha. @Risk, Palisade Corporation 2012).

Ved beregningen anvendes derfor poissonfordelte eksposeringer. Ved meget lave koncentrationer, f.eks. i business-as-usual konceptet, bliver resultatet, at der i de fleste iterationer er en dosis på 0 og i få tilfælde dosis på 1.

Mængden af vand, der drikkes, er forskelligt fra land til land, og det anbefales, at der anvendes land-specifikke undersøgelser (Mons et al. 2005). Det er så vidt ikke undersøgt, hvor meget vand danskerne drikker. I stedet anvendes her svenske undersøgelser. Westrell et al (2006) konkluderer, at svenskerne i gennemsnit drikker 0,86 l/dag (Stdev = 0,48) af koldt vand, men med stor variation. Fordelingen følger en log normal fordeling.

13.2.2 Eksposering via tøjvask og toiletskyl

Der er fastlagt 2 scenarier for eksposering: anvendelse af sekundavand til toiletskyl og anvendelse til vask af tøj.

Toiletskyl

I forbindelse med toiletskyl dannes der aerosoler. Barker og Jones (2005) fandt, at både bakterier og virus kunne findes i luften og på overflader efter toiletskyl. Organismer i aerosoler kan dels indtages direkte via indånding og dels afsættes i slim i næsen, som derefter sluges, eller afsættes lungerne. Det er vurderet, at der indtages 10 µl/toiletbesøg via direkte indtagelse gennem luften (Environment Protection and Heritage Council, 2006).

Vira, herunder Norovirus, kan overleve i aerosolerne tilstrækkeligt længe til at kunne afsættes på overflader (Boone og Gerba, 2007). Rusin et al. (2002) fandt overførselsrate på 40 % fra glatte hårde overflader til hænder for bakteriofag PRD-1, som er en bakterievirus, der minder om Adenovirus, og en overførselsrate fra fingerspids til læber på cirka 34 %. Det er derfor sandsynligt, at Norovirus kan spredes fra toilet til overflader og herefter overføres via hænderne til munden og direkte gennem luften og medføre infektion. Der er dog ikke på dette grundlag mulighed for at kvantificere hvor stor dosis der overføres via overflader. I denne vurdering vil vi derfor anvende indtagelse af 10 µl/toiletbesøg, som anbefalet i Environment Protection and Heritage Council (2006).

Tøjvask

O'Toole et al. (2009) har undersøgt overførslen af *E. coli*, *Cryptosporidium parvum* og bakteriofager (MS-2 og PRD-1) til hænderne i forbindelse med maskintøjvask. MS2 er en bakteriel virus, der minder om enteriske vira, som f.eks. Norovirus. De fandt, at et antal MS2 svarende til indholdet i 0,03 ml på hænderne efter vask. I denne vurdering antages det, at 3 % sidder på fingerspidserne og at 34 % heraf overføres til læberne og indtages (Rusin et al. 2002). En dansk husholdning vasker gennemsnitlig 270 gang om året (Energistyrelsen, 2013), men vi vil af beregningsmæssige grunde antage, at der vaskes 1 gang om dagen.

Eksposering i forbindelse med fejltilslutninger og 0-konceptet

I forbindelse med fejltilslutning vil sekundavand kunne trænge ind i ledningsnettet med drikkevand. Det antages i denne forbindelse, at vandet løber ufortyndet til en vandhane, hvorfra der drikkes. Se afsnit 2.4 og 2.5

13.3 Dosis/respons relation

Dosis/respons relationen er en model eller funktion, der viser sammenhængen mellem antallet af organismer, der er indtaget, og sandsynligheden for at blive inficeret. Infektion defineres ved, at man har dannet antistoffer mod Norovirus eller har Norovirus i fæces. For Norovirus er denne funktion en såkaldt exact betapoisson (Teunis et al., 2008):

$$\text{Formel 1: } P_{\text{inf}} = 1 - \exp(-r \cdot d)$$

hvor

P_{inf} er sandsynligheden for infektion pr eksposering

d er dosis (antal) af Norovirus

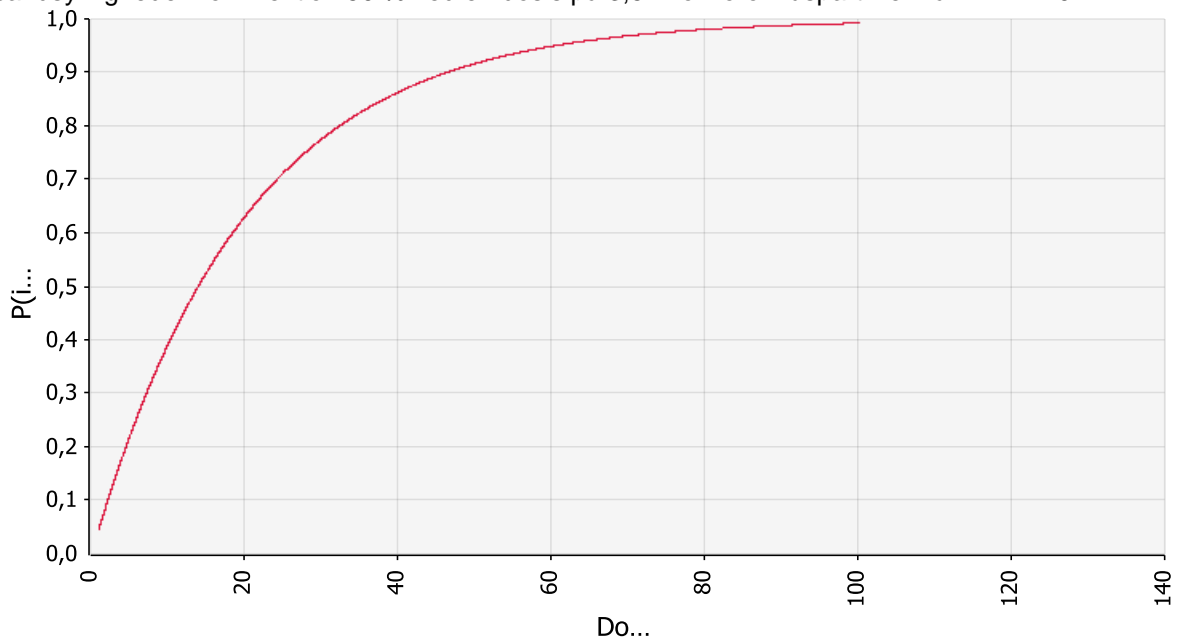
r er sandsynligheden for infektion ved indtagelse af 1 norovirus partikel. r tages fra en betafordeling med $a = 0,04$ og $b = 0,055$. P_{inf} ved middeldosis på 1 er forskellig fra r . (Se Thebault et al 2013 for forklaring).

Fordelingen af r ses i Figur 13.2. Det ses at fordelingen er meget ulige fordelt. Det skyldes, at mange mennesker er meget følsomme og inficeres let, mens andre er meget lidt følsomme, samt at nogle Norovirus partikler er mere infectiøse end andre. r ligger mellem 0 og 1 med en middelværdi på 0,42.



Figur 13.2: Fordelingen af r. Sandsynligheden for infektion ved indtagelse af 1 viruspartikel (Teunis et al., 2008).

Forholdet mellem dosis og respons vil variere med varierende r. I Figur 13.3 er dosis-responsforholdet for $r = 0,05$ vist. Ved lavere r skal der større dosis til. Til sammenligning er sandsynligheden for infektion 50 % ved en dosis på 3,5 mio Noroviruspartikler når $r = 2 \cdot 10^{-10}$.

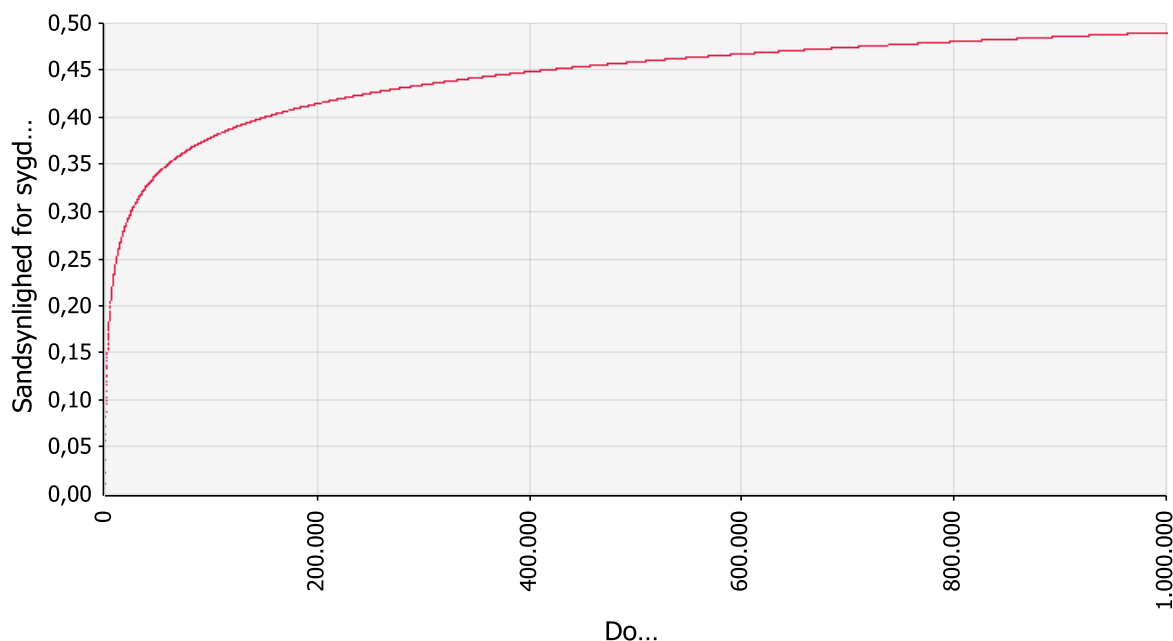


Figur 13.3: Dosis-respons relation for Norovirus ved $r = 0,05$. (enhed for dosis er Norivirus partikler)

Cirka 20 % af befolkningen er immune over for Norovirus. For de, der ikke er immune, afhænger sandsynligheden for at blive syg efter infektion af dosis efter følgende dosisrespons relation (Teunis et al., 2008):

Formel 2: $P_{\text{syg}} = 1 - (1 + \eta d)^{-r}$ hvor d = dosis, $\eta = 0,00255$ og $r = 0,086$.

Dosis-respons funktionen for sygdom er vist i Figur 13.4.



Figur 13.4: Sandsynligheden for at ikke immune inficerede personer bliver syge som funktion af dosis. (enhed for dosis er Norivirus partikler)

Når den årlige sandsynlighed for infektion skal beregnes ud fra sandsynligheden for infektion pr dag anvendes (Pettersen et al. 2005)

Formel 3: $P_{\text{år}} = 1 - (1 - P_{\text{dag}})^{-365}$

Hvis flere hændelser, f.eks. daglig eksponering i forbindelse med tøjvask kombineret med risikoen for fejltilslutninger, finder sted i den samme periode kan den årlige sandsynlighed for infektion beregnes ved (Pettersen et al. 2005):

Formel 4: $P_{\text{år}} = 1 - ((1 - P_{\text{tøjdag}})^{-(365-n)} \cdot (1 - P_{\text{fejl}})^{-n})$

Hvor $P_{\text{tøjdag}}$ er sandsynligheden for infektion pr dag, P_{fejl} er sandsynligheden for infektion ved fejltilslutning, og n er antallet af fejltilslutninger pr år.

13.4 Risikokarakterisering

13.4.1 Risikoestimering

Risikoestimeringen foregår ved hjælp af Monte Carlo simulering i programmet @Risk (Palisade Corporation, 2012). Ved simuleringen "prøvetages" i fordelingerne for dosis og r . For hver prøvetagning gennemføres en beregning. Prøvetagningen gennemføres 100.000 gange. Beregningerne foretages på baggrund af antagelserne i de tidligere afsnit.

5.1.1: Koncept 0. Business-as-usual.

I dette koncept bestemmes risikoen for infektion, sygdom og den beregnede sygdomsbyrde hvis man ikke anvender sekundavand i husholdningen.

Parametrene og beregningerne fremgår af Tabel 13.2.

Tabel 13.2: Input og output for koncept business-as-usual.

Beskrivelse	Type	Fordeling/ beregning	Værdi (se tekst)
Gennemsnitlig koncentration i drikkevand (NoV/L)	Input variabel (K)	Homogen	Min: $7,1 \cdot 10^{-7}$ Max: $7,1 \cdot 10^{-4}$
Volume indtaget (L pr dag)	Input variabel (V)	Lognormal	Gennemsnit: 0,86 Stdev: 0,48
Gennemsnitlig dosis (antal/dag)	(d_g)	$K \cdot V$	
Dosis (antal/dag)	(d_p)	Poissonfordelt	$\lambda = d_g$
Sandsynlighed for infektion ved indtagelse af 1 NoV	Input variabel (r)	betafordelt	$\alpha = 0,04$ $\beta = 0,055$
Sandsynlighed for infektion/dag	Pinf/dag Output	Formel 1	
Sandsynlighed for infektion/år	Pinf/år Output	Formel 3	
1 - % immune	Konstant (I)		0,8
Sandsynlighed for sygdom hvis inficeret	Psyg Output	Formel 2	
Sandsynlighed for sygdom/dag	Psyg/dag Output	$P_{inf}/dag \cdot I \cdot$ $Psyg/dag$	
Sandsynlighed for sygdom/år	Psyg/år Output	Formel 3	
Sygdomsbyrde (DALY)	Output	$Psyg/år \cdot$ $9 \cdot 10^{-4}$	Mara and Sleigh, 2010

Sandsynligheden for at indtage 1 Norovirus partikel er beregnet til at det sker 2 til 3 dage for hver 10.000 dage og middelsandsynligheden for infektion ca 2:10.000 pr år.

13.4.2 Koncept 1: Forsyning med grundvand af ikke-drikkevandskvalitet, indvundet i København

Da kvaliteten af vandet der evt. vil blive leveret fra Fælledparken ikke er kendt gennemføres beregninger under antagelse af forskellige koncentrationer.

Beregningen af risikoen for at blive syg ved tøjvask er vist i Tabel 13.3.

Tabel 13.3: Input og output til Monte Carlo beregning af risiko ved tøjvask i koncept 1.

Beskrivelse	Type	Fordeling/ beregning	Værdi (se tekst)
Gennemsnitlig koncentration i sekundavand (NoV/L)	Input variabel (K)	indsættes*	
Overførsel til hænder (L)	Input Konstant (h)		0,00003
Overførsel til mund (%)	Input Konstant (m)	$0,03 \cdot 0,34$	
Volumen (L)	(V)	$h \cdot m$	
Dosis (antal/gang)	Variabel (d)	Poisson fordelt	$\lambda = K \cdot V$
Sandsynlighed for infektion ved indtagelse af 1 NoV	Input variabel (r)	betafordelt	$\alpha = 0,04$ $\beta = 0,055$
Sandsynlighed for infektion/vask	Pinf/vask Output	Formel 1	
Sandsynlighed for infektion/år ved 1 vask pr dag	Pinf/år Output	Formel 3	
Sandsynlighed for infektion/år	Psyg Output	Formel 2	
Herefter som for 0-konceptet. Se Tabel 13.2.			
*Den koncentration der giver ca 1:10.000 risiko indsættes			

Beregningen af risikoen ved toiletskyl er beregnet som for tøjvask med den undtagelse, at volumen indtaget er sat til 30 µl/dag (10 µl · 3 gange om dagen).
Beregningen af risikoen for at blive syg er vist i Tabel 13.4

Tabel 13.4: Input og output til Monte Carlo beregning af risiko ved fejltilslutninger i koncept 1.

Gennemsnitlig koncentration i sekundavand (NoV/L)	Input variabel (K)	indsættes	
Volume indtaget (L pr dag)	Input variabel (V)	Lognormal	Gennemsnit: 0,86 Stdev: 0,48
Gennemsnitlig dosis (antal/dag)	(d _g)	K · V	
Dosis (antal/dag)	(d _p)	Poissonfordelt	$\lambda = d_g$
Sandsynlighed for infektion ved indtagelse af 1 NoV	Input variabel (r)	betafordelt	$\alpha = 0,04$ $\beta = 0,055$
Dosis (antal/fejltilslutning)	Variabel (d)	Poisson fordelt	$\lambda = K \cdot V$
Sandsynlighed for infektion/fejltilslutning	Pinf/fejl Output	Formel 1	
Antal fejltilslutninger/år	Input Variabel (f)	Homogent fordelt	Max: 1:1000 Min: 1:10000
Sandsynlighed for infektion/år	Psyg Output	Pinf/fejl · f	
Herefter som for 0-konceptet. Se Tabel 13.2.			

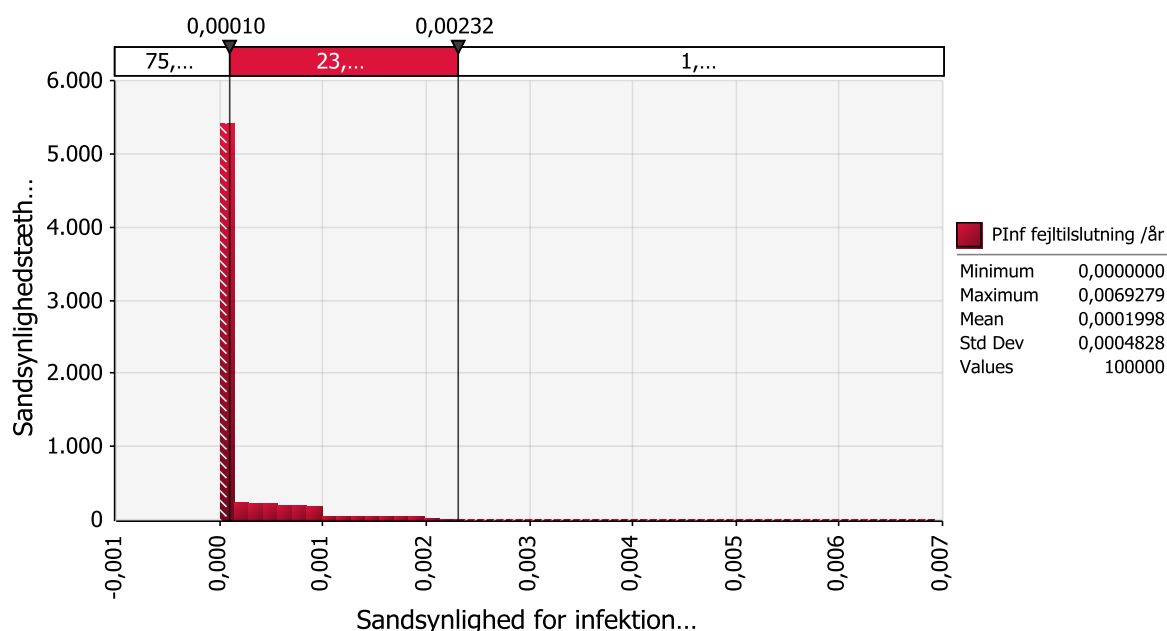
13.4.3 Resultater

Tabel 13.5: Beregning af gennemsnitlige koncentrationer, der giver en gennemsnitlig årlig sandsynlighed for infektion på cirka 0,0001, og beregning af gennemsnitlig sandsynlighed for infektion ved "business-as-usual".

	Gennemsnitlig koncentration (/L)	Gennemsnitlig sandsynlighed for infektion (/år)	Gennemsnitlig årlig sygdomsbyrde (DALY)
0-koncept – Business-as-usual	$7,1 \cdot 10^{-7}$ til $7,1 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-9}$
Tøjvask	500	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-11}$
Toiletskyl	7	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-11}$
Fejltilslutning	1	$2 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-11}$

Tabel 13.5 viser de gennemsnitlige resultater af Monte Carlo simuleringerne for 0-konceptet (Business-as-usual), ved tøjvask og toiletskyl. Til sammenligning er resultaterne i forbindelse med fejltilslutninger angivet. Koncentrationen, der giver en gennemsnitlig sandsynlighed for infektion på ca 0.0001, er lavest for fejltilslutninger. Risikoen ved anvendelse af sekundavand er derfor størst i forbindelse med fejltilslutninger. Sygdomsbyrden beregnet som DALY ligger omkring 10^{-11} /år. Resultater vedrørende risikoen ved fejltilslutninger er vist i figur 5 herunder. Det skal nævnes at den gennemsnitlige sandsynlighed (og sygdomsbyrde) kan variere omkring 50

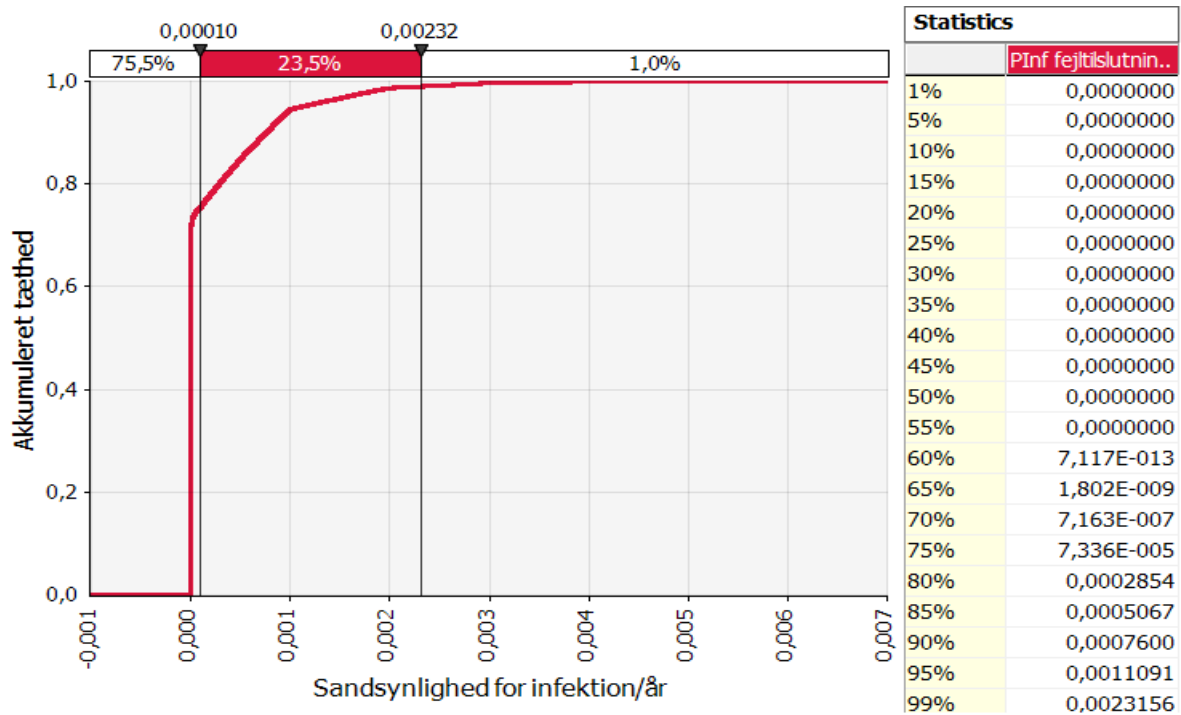
% ved gentagne simuleringer, hvilket betyder, at Monte Carlo simuleringen i sig selv giver en usikkerhed.



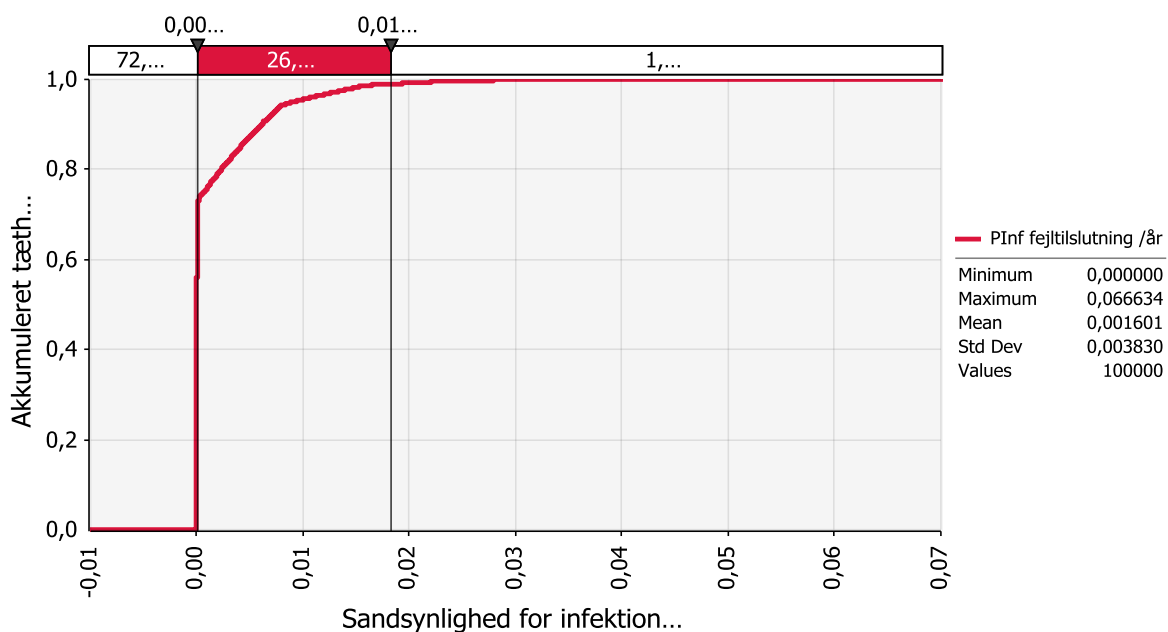
Figur 13.5: Fordeling af sandsynlighed for infektion/år. Den lejlighed hvor fejltilslutningen forekommer, påvirker kun lejligheden selv. Gennemsnitlig koncentration = 1 NoV/L. Y-aksen angiver sandsynlighedstætheden (probability density).

Figur 13.5 viser fordeling af sandsynligheden for infektion/år, hvis sekundavandet løber ufortyndet ind i lejlighedens drikkevandsnet med en koncentration på 1 NoV/L, og i det tilfælde, hvor lejligheden med fejltilslutningen kun påvirker kun lejligheden selv. Figuren viser, at for de 100.000 beregninger, der er gennemført ved Monte Carlo simuleringen, så ligger sandsynligheden for infektion meget tæt på 0, og cirka 76 % af beregningerne giver en sandsynlighed, der er 0,0001 eller mindre pr år. Kun 1 % af beregningerne giver en sandsynlighed for infektion, der er 0,002 eller større pr år. Y-aksen angiver sandsynlighedstætheden. Enheden på Y-aksen afhænger af kolonnernes bredde og er indrettet således, at arealet af søjlerne tilsammen er 1. Hvis arealerne af søjlerne akkumuleres fås Figur 13.6. I Figur 13.6 er tillige angivet værdierne bag kurven. Det ses, at selv om den gennemsnitlige sandsynlighed for at blive inficeret er 0,0002, så er der 60 % chance for at den gennemsnitlige sandsynlighed for at blive inficeret er $< 10^{-12}$. En pædagogisk forklaring på sandsynlighedstætheder kan ses på Youtube (2009).

Antallet af boliger, der rammes ved en fejltilslutning, betyder noget for sandsynligheden for at blive inficeret. På Figur 13.7 ses sandsynlighedsfordelingen under antagelse af, at der er 8 lejligheder der påvirkes. Det ses, at den gennemsnitlige sandsynlighed for at blive inficeret stiger til 0,0016, men chancen for at risikoen er under 0.0001, kun er faldet svagt til 73 %.



Figur 13.6: Fordeling af sandsynlighed for infektion/år. Den lejlighed, hvor fejltislutningen forekommer, påvirker kun lejligheden selv. Gennemsnitlig koncentration = 1 NoV/L. Y-aksen angiver den akkumulerede sandsynlighedstæthed.



Figur 13.7: Fordeling af sandsynlighed for infektion/år. Den lejlighed hvor fejltislutningen forekommer, påvirker også 7 andre lejligheder. Gennemsnitlig koncentration = 1 NoV/L. Y-aksen angiver den akkumulerede sandsynlighedstæthed.

13.4.4 Risikobeskrivelse

Beregnet risiko i forhold til acceptabel risiko

Internationalt set er der to accepterede mål for acceptabel risiko. USEPA har defineret acceptabel risiko i forbindelse med drikkevand til at være 1 inficeret person pr år ud af en population på 10.000. Denne værdi stammer fra en beregning af hvad der tidligere blev accepteret i USA (ASM, 2007).

Et andet mål for sygdomsbyrde er DALY, disability adjusted life years, som er blevet introduceret af WHO i forbindelse med drikkevand (WHO 2011b).

$DALY = YLL \text{ (Years of Life Lost)} + YDL \text{ (Years lived with disability)}$.

YLL er antallet af år man dør for tidligt på grund af sygdommen. YDL er antallet af år man lever med en sygdom. YDL beregnes ved at multiplicere tiden, hvor man er syg, med sygdommens alvor. Vægtning af sygdommens alvor går fra 0, godt helbred, til 1, død. WHO anser 1 μ Daly pr person pr år som et tolerabelt niveau. Et norovirus tilfælde er beregnet til $9 \cdot 10^{-4}$ DALY (Mara and Sleight, 2010).

Forskellen mellem de to er, at DALY skelner mellem de forskellige sygdomme, mens USEPAs ikke gør det. En anden forskel er USEPA ser på sandsynligheden for infektion, mens DALY beregnes ud fra antal syge. For norovirus infektion gælder, at det er relativt svage symptomer, og at der er stor chance for ikke at blive syg, når man er inficeret med små doser. For Norovirus i drikkevand er USEPA's kriterium sværere at overholde end WHO's.

Beregningerne viser, at der ved en koncentration på 1 Norovirus/L i sekundavandet vil være en sandsynlighed for at blive inficeret på cirka 0,0002. Når der tages hensyn til tøjvask, toiletskyl og fejlttilslutninger i forhold til USEPA's kriterium er dette en acceptabel risiko, usikkerheden taget i betragtning, såfremt der ikke er andet i vandet samtidigt. Endvidere svarer risikoen nogenlunde til risikoen i business-as-usual-konceptet. I forhold til WHO's kriterium, er den beregnede risiko for anvendelse af sekundavand med en koncentration på 1 Norovirus/L langt under.

Den største risiko er forbundet med fejlttilslutninger. Ved tøjvask-scenariet skal den gennemsnitlige koncentration være 500 gange højere, for at nå op på samme risiko for infektion, som den der er forbundet med fejlttilslutninger, og for toiletskyl vedkommende skal koncentrationen være 7 gange højere. Det kan konkluderes, at hvis risikoen skal reduceres, vil der være størst effekt ved at reducere sandsynligheden for fejlttilslutninger.

Usikkerheder

Resultaterne af denne kvantitative mikrobielle risikovurdering er alle baseret på teoretiske betragtninger. Alle input data er hentet i den internationale litteratur og er derfor realistiske, men ikke nødvendigvis fuldt gældende under danske forhold.

Særlig usikkerhed er formentlig forbundet med størrelsen af overførslen af virus mellem hænder og mund, således at risikoen ved tøjvask er usikkert bestemt.

Dosis er meget lav, når vi taler om drikkevand. Da undersøgelserne vedrørende sandsynligheden for infektion har anvendt væsentlig højere doser (Teunis et al. 2008), giver det en usikkerhed.

Den ujævne fordeling af r (se Figur 13.2) betyder, at mange bliver inficeret ved ganske lav dosis og andre skal have en relativ høj dosis for at blive inficeret. Det betyder i praksis, at der vil være et range af doser, hvor der ikke bliver yderligere personer inficeret, svarende til at den akkumulerede tæthedskurve er vandret. Det giver en stor usikkerhed på bestemmelsen af den gennemsnitlige sandsynlighed for infektion.

Business-as-usual konceptet er formentlig overestimeret, da det er mest sandsynligt, at der ikke er tale om forurening med spildevand og dermed er indholdet af humane Norovirus lavere end antaget. Business-as-usual-konceptet skal derfor betragtes som et worst case scenarium.

Antallet af lejligheder, der har indflydelse på hinanden i forbindelse med fejltilslutninger, har relativ stor betydning for risikoen. Endvidere er definitionen af en bolig (Storey et al 2007) uklar. Den tid der går, fra en fejltilslutning etableres til den opdages, er her antaget at være 1 dag, idet det antages at der opsættes sensorer, der advarer når drikkevandet forurenes. Hvis varigheden af fejltilslutninger er længere, vil risikoen stige.

I denne vurdering er Norovirus anvendt som en modelorganisme, fordi den kan tænkes at forekomme. Andre patogener er ikke vurderet, idet det vurderes, at deres forekomst er mindre sandsynlig.

13.4.5 Referencer

- Abbaszadegan, M., Leschevallier, M., Gerba, C. 2003. Occurrence of viruses in US groundwaters. J. AWWA. 95,9,107-120.
- Adeler, O.F. og Harremoës, P. 2000. Vurdering af hygiejniske risici ved håndtering af urent vand i huse. Økologisk Byfornyelse og Spildevandsrensning. No. 3. Miljøstyrelsen.
- Andersen, S.T., Erichsen, A. C. , Mark, O. and Albrechtsen, H-J. (submitted) Effects of a 20 year rain event: a quantitative microbial risk assessment of a case of polluted bathing water in Copenhagen, Denmark.
- ASM 2007. Clean Water. What is acceptable microbial risk. American Society for Microbiology. Washington DC.
- Boone, S.A. and Gerba, C.P. 2007. Significance of Fomites in the Spread of Respiratory and Enteric Viral Disease. Appl Environ Microbiol. 73,6,1687-1696.
- Borchardt, M.A., Spencer, S.K., Kieke Jr. B.A., Lambertini, E. and Loge, F.J.. 2012. Viruses in undisinfected Drinking Water from Municipal Wells and Community Incidence of Acute gastrointestinal Illness. Environmental Health Perspectives. 120,9, 1272-1279.
- Bradbury et al. 2013. Source and Transport of Human Enteric Viruses in Deep Municipal Water Supply Wells. Environ. Sci. Technol. 47, 4096-4103
- Castro-Hermida, J. A., Almeida, A., Gonzalez-Warleta, M., Da Costa, J. M., and Mezo, M.. Prevalence and preliminary genetic characterization of *Cryptosporidium* spp. isolated from asymptomatic heifers in Galicia (NW, Spain). 2006 J.Eukaryot.Microbiol. 53 Suppl 1:S22-S23.
- Corfitzen, C. og Albrechtsen, H.-J. (2010) Notat om foreløbig risikovurdering ved anvendelse af sekundavand – grundvand indvundet i Københavns kommune – til toiletskyll og tøjvask. For Københavns Energi April 2010.
- da Silva, AK., Le Saux, J-C, Parnaudeau, S., Pommepuy, M., Elimelech, M. and Le Guyader, FS. (2007) Evaluation of Removal of Noroviruses during Wastewater Treatment, Using Real-Time Reverse Transcription-PCR: Different Behaviors of Genogroups I and II. Appl.Environ. Microbiol.73(24):7891-97
- Dungeni, M., Momba, MNB. 2010. The abundance of *Cryptosporidium* and *Giardia* spp. in treated effluents produced by four wastewater treatment plants in the Gauteng Province of South Africa. Water SA. 36, 4, 425-432
- Energistyrelsen (2013) Vaske- og tørreråd, der sparer energi. <http://www.goenergi.dk/forbruger/el/vask/vaske-og-toerreraad> 26/1-2013.
- Environment Protection and Heritage Council, the Natural Resource Management Ministerial Council and the Australian Health Ministers' Conference. 2006. National Guidelines for

- Water Recycling: Managing Health and Environmental Risks. Phase 1. ISBN 1 921173 06 8. Tilgængelig på: <http://www.ephec.gov.au/taxonomy/term/39>
- Erichsen A.C., Kaas, H., Dannisøe, J.D., Mark, O., og Jørgensen, C. Etablering af badevandsprofiler og varslingsystemer i henhold til EU's nye badevandsdirektiv. Miljøprojekt Nr. 1101 2006. Miljøstyrelsen.
- García-Aljaro, C., Bonjoch, X., Blanch, A.R. 2005. Combined use of an immunomagnetic separation method and immunoblotting for the enumeration and isolation of *Escherichia coli* O157 in wastewaters. *J Appl Microbiol.* 98, 3, 1365-2672
- Gennaccaro, A. L., McLaughlin, M. R., Quintero-Betancourt, W., Huffman, D. E. and Rose J. B. 2003. Infectious *Cryptosporidium parvum* oocysts in final reclaimed effluent. *Appl. Environ. Microbiol.* 69 (8):4983-4984.
- Glass, R.I., Parashar, U.D. and Estes, M.K. 2009. Norovirus Gastroenteritis. *N Engl J Med* 361,18,1776-1785.
- Haramoto E, et al. 2006. Seasonal profiles of human noroviruses and indicator bacteria in a wastewater treatment plant in Tokyo, Japan. *Water Sci. Technol.* 54:301–308
- Hellein, K.N., Battie, C., Tauchman, E., Lund, D., Oyarzabal, O.A., and Lepo, J.E. 2011 Culture-based indicators of fecal contamination and molecular microbial indicators rarely correlate with *Campylobacter* spp. in recreational waters. *J Water and Health*, 9, 4, 695–707
- Henze, M., van Loosdrecht, M. C. M., Ekama, G.A. and Brdjanovic. D. (Eds) 2008. *Biological Wastewater Treatment Principles, Modelling and Design*. IWA
- Hewitt J, Leonard M, Greening GE, Lewis GD. 2011. Influence of wastewater treatment process and the population size on human virus profiles in wastewater. *Water Research.* 45:6267-6276.
- Kistemann, T., Rind, E., Rechenburg, A., Koch, C., Claßen, T., Herbst, S., Wienand, I., Exner, M. 2008. A comparison of efficiencies of microbiological pollution removal in six sewage treatment plants with different treatment systems. *Int J Hyg Environ Health.* 211, 5-6, 534-545.
- Lemarchand, K., and Lebaron, P. 2003. Occurrence of *Salmonella* spp. and *Cryptosporidium* spp. in a French coastal watershed: relationship with fecal indicators. *FEMS Microbiol Letters* 218, 203 - 209
- Mara, D. and Sleight, A. (2010) Estimation of norovirus infection risks to consumers of wastewater-irrigated food crops eaten raw. *J. Water and Health* 08,1,39-43
- Mons, M., Blokker, M., van der Wielen, J. Medema, G., Sinclair, M., Hulshof, K. Dangendorf, F., and Hunter, P.R. 2005. Estimation of the consumption of cold tap water for microbiological risk assessment. Microrisk report. http://www.microrisk.com/uploads/microrisk_tap_water_consumption.pdf
- K. Mølgaard, C. Nickelsen, and J. la Cour. 2002 Hygiejnisk kvalitet af spildevand fra offentlige renseanlæg. Miljøprojekt 684. Miljøstyrelsen.
- National Research Council (2012) *Water Reuse: Expanding the Nation's Water Supply Through Reuse of Municipal Wastewater*. Tilgængelig på http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=13303. ISBN 978-0-309-22459-8
- Nordgren J, Matussek A, Mattsson A, Svensson L, Lindgren PE. 2009. Prevalence of norovirus and factors influencing virus concentrations during one year in a full-scale wastewater treatment plant. *Water Res.* 43: 1117–1125

- Oosterholt, F., Martijnse, G., Medema, G., and van der Kooij, D. 2007. Health risk assessment of non-potable domestic water supplies in the Netherlands. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, 56.3. 171-179
- O'Toole, J., Sinclair, M., and Leder, K. (2009) Transfer Rates of Enteric Microorganisms in Recycled Water during Machine Clothes Washing. *Appl Environ Microbiol.* 75, 5, 1256–1263.
- Ottoson, J. 2004. comparative analysis of pathogen occurrence in waste water. Doctoral Thesis. KTH and Smittskyddsinstitutet.
- Palisade Corporation, 2012. @RISK for Excell, Version 6.01, Industrial Edition.
- Payment, P., Plante, R. and Cejka P. 2001 Removal of indicator bacteria, human enteric viruses, Giardia cysts, and Cryptosporidium oocysts at a large wastewater primary treatment facility. *Can.J.Microbiol.* 47 (3):188-193.
- Pedersen, A-K. 2013. Ann-Katrin Pedersen, HOFOR, pers comm.
- Petterson, S., Signor, R., Ashbolt, N. and Roser, D. 2005. QMRA methodology. Microrisk report. http://www.microrisk.com/uploads/microrisk_qmra_methodology.pdf
- Robertson, L. J., C. A. Paton, A. T. Campbell, P. G. Smith, M. H. Jackson, R. A. Gilmour, S. E. Black, D. A. Stevenson, and H. V. Smith. 2000. Giardia cysts and Cryptosporidium oocysts at sewage treatment works in Scotland, UK. *Water Res.* 34:2310-2322.
- Rusin, P., Maxwell, S. and Gerba, C. (2002) Comparative surface-to-hand and fingertip-to-mouth transfer efficiency of gram-positive bacteria, gram-negative bacteria, and phage. *J Appl Microbiol* 2002, 93, 585–592
- Schreiber, C. 2011. Einträge, Vorkommen, Verbreitung und gesundheitliche Bedeutung antibiotikaresistenter Bakterien in Abwasser und Gewässern Ein sozial-ökologischer Beitrag zur Geographischen Gesundheitsforschung. Dissertation. Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn. <http://hss.ulb.uni-bonn.de/2011/2713/2713.htm>
- Seitz, S.R et al (2011) Norovirus Infectivity in Humans and Persistence in Water. *Appl Environ Microbiol* 77,19, 6884–6888.
- Storey, M.V., Deere, D., Davison, A., Tam, T. and Lovell, A.J. 2007. Risk management and cross-connection detection of a dual reticulation system. In *Water Reuse and Recycling*, S. Khan, R.M. Stuetz and J.M. Anderson, eds., UNSW Publishing, Sydney, Australia, 2007, pp. 459–466.
- Teunis et al. 2008 Norwalk Virus: How Infectious is It? *Journal of Medical Virology* 80:1468-1476.
- Youtube 2009: http://www.youtube.com/watch?v=Fvi9A_tEmXQ
- WHO (2011) Safe Drinking-water from Desalination. http://whqlibdoc.who.int/hq/2011/WHO_HSE_WSH_11.03_eng.pdf
- WHO 2011b. Guidelines for Drinking-water Quality. Fourth edition. WHO Geneva.

14. Livscyklusvurdering (LCA)

Berit Godskesen & Martin Rygaard, DTU Miljø

14.1 Introduktion

Dette kapitel indeholder en livscyklusvurdering af 4 koncepter til forsyning af sekundavand til Trælstholmen og Sundmolen i Nordhavnen. Resultatet skal bruges til at opgøre koncepternes miljøpåvirkning og dermed danne grundlag for at kunne sammenligne miljøpåvirkningen af valg af et koncept imod et andet.

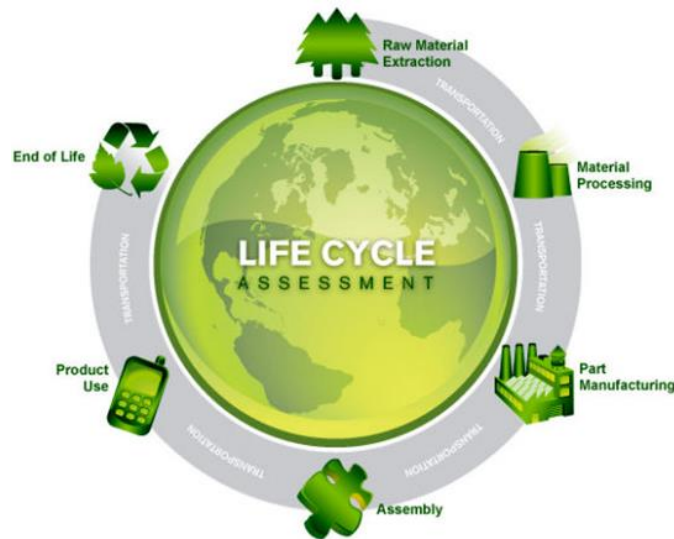
Det mest bæredygtige koncept vil også findes ved vurdering af andre kriterier som for eksempel økonomi, brugerønsker, sundhedsrisici mm.. Disse andre kriterier behandles i andre delundersøgelser under Vand i Byer Innovationspartnerskabet om Nordhavnen, sekundavand.

I det følgende vil forkortelsen LCA (*eng.* Life Cycle Assessment) blive brugt om livscyklusvurdering.

Baggrund for udvælgelse og beskrivelse af de 4 koncepter ses i den delrapport, der har arbejdet med dette (Forundersøgelse til sekundavand i Nordhavnen).

14.1.1 Beskrivelse af livscyklusvurdering (LCA)

Denne LCA af 4 koncepter til forsyning af sekundavand i Nordhavnen er udarbejdet efter ISO-standard 14044 men afviger idet, 1) vi også præsenterer det vægtede resultat, som er ment som en hjælp for beslutningstageren, der ellers selv bliver overladt til at foretage vægtningen og 2) vi har anvendt et internt review-panel i arbejdsgruppen fremfor et eksternt.



Figur 14.1. Livscyklus af et produkt eller en serviceydelse, der dækker alle processer fra vugge til grav fra 1) udvinding af råstoffer, over 2) manufakturering af enkeltdele og samling af system eller produkt, til 3) driftsfasen og endeligt 4) bortskaffelse eller recirkulering af materialerne.

LCA er en systematisk opgørelse af de kendte og kvantificerbare udvekslinger mellem miljøet og det system eller produkt, der miljøevalueres. I dette tilfælde er der tale om en serviceydelse i form af et system, som forsyner Nordhavnen med sekundavand. Metoden inddrager alle miljøudvekslinger og påvirkninger i systemets livscyklus fra vugge til grav. Det vil sige, analysen starter med råstofudvinding til at bygge og etablere systemet, inkluderer driften af systemet og ender med bortskaffelse af de komponenter, der indgår i systemet (Figur 14.1).

For en serviceydelse (fx vandforsyningssystem) er det ofte i driftsfasen, at der bruges en stor del energi og eventuelt kemikalier, som spiller ind på resultatet af en LCA.

Når alle input og output er opgjort samles resultaterne i en livscyklusopgørelse, der er grupperet efter potentielle påvirkninger (påvirkningskategorier). Der er 3 overordnede områder af påvirkninger, som er miljøpåvirkninger, toksicitet og ressourceforbrug. I miljøpåvirkning samles for eksempel drivhuseffekt, forsurening, smogdannelse og næringssaltbelastning. I denne LCA er de udvalgte påvirkningskategorier nævnt i Tabel 14.1.

Efter at have opgjort påvirkningerne per påvirkningskategori normaliseres resultaterne, dvs. de sættes i forhold til en fælles reference for hver kategori. I dette studie sættes de i forhold til den årlige påvirkning for én gennemsnits person i den givne region (Europa). Herved omdannes det normaliserede resultat til den såkaldte personækvivalent (*eng.* person equivalent med enheden PE). Endeligt kan de normaliserede resultater også vægtes, hvilket er et trin hvor påvirkningskategoriernes relative vægte tilføjes. Et vægtet resultat tillader at påvirkningskategoriernes kan lægges sammen til ét resultat indenfor hvert område (miljø, ressourcer og toksicitet) og angives i enheden *personal equivalent targeted* (PET).

Tabel 14.1. Påvirkningskategorier udvalgt til præsentation af resultater af LCA sekundavandshåndtering i Nordhavn.

Område	Påvirkningskategori	Enhed før normalisering	LCA metode
Miljø	Klimaforandring	CO ₂ -ækvivalent	ReCiPe
	Forsuring	SO ₂ -ækvivalent	
	Smogdannelse	C ₂ H ₄ -ækvivalent	
	Næringssaltbelastning	NO ₃ ²⁻ -ækvivalent	
Ressourcer	Metal-udtømning	Fe-ækvivalent	ReCiPe
Toksicitet	Øko-toksicitet	CTUh (comparative toxic unit human)	USE-tox
	Human-toksicitet (cancer)	CTUe (comparative toxic unit ecosystem)	USE-tox

LCA-værktøjet anvendes også på produkter. Her er formålet ofte at identificere, hvor i produktionskæden, der kan ændres, så produktet bliver mere miljøvenligt. I planlægning af en forsyning som fx sekundavand, er det ofte i forbindelse med valg mellem forskellige alternativer, at LCA har sin styrke, men det kunne også være ved valg af materialer til fx forsyningsledninger.

I resultat-afsnittet præsenteres også de vægtede resultater for påvirkningskategorierne under Miljø. Når kategorierne vægtes, er det muligt at aggregere dem, og dermed opnå ét samlet resultat (Wenzel *et al.*, 1997; Rowley *et al.*, 2012). I denne LCA er ReCiPe-metoden kombineret med en vægtningsmetode udviklet af PE International, baseret på indsamling af data fra 245 LCA-eksperter. Eksperterne blev spurgt om vigtigheden af 13 forskellige miljøkategorier på en skala fra 1-10. Vægtningen er opdelt efter geografiske region (Europa, USA og global) (Kokborg, 2013).

14.1.2 Teknologier og koncepter

Der indgår 4 sekundavandsteknologier (T1-T4) i LCA'en og udgangspunktet for drikkevandsproduktion i dag til København (T0). De er karakteriserede ved at T0 er en centraliseret løsning, mens de andre er enten semi-central eller lokale teknologier (Tabel 14.2).

Tabel 14.2. Beskrivelse af forskelle og ligheder blandt alternativerne A0-A2 for vejvandshåndtering i Nordhavnen i forhold til Løsningsdimension og behandling.

Teknologier	Dimension	Dimensioneret (m³/år)
T0 – Grundvandsindvinding, som vi kender den i dag	Central	50 mio
T1 – potentielt forurenet grundvand fra Fælledparken	Semi-central	0,5 mio
T2 – afsaltet havvand, dog uden remineralisering og UV-behandling	Semi-central	1,5 mio
T3 – afsaltet havvand med remineralisering og UV (drikkevand)	Semi-central	1,5 mio
T4 – regn- og gråtvandssystem	Lokal	25.000

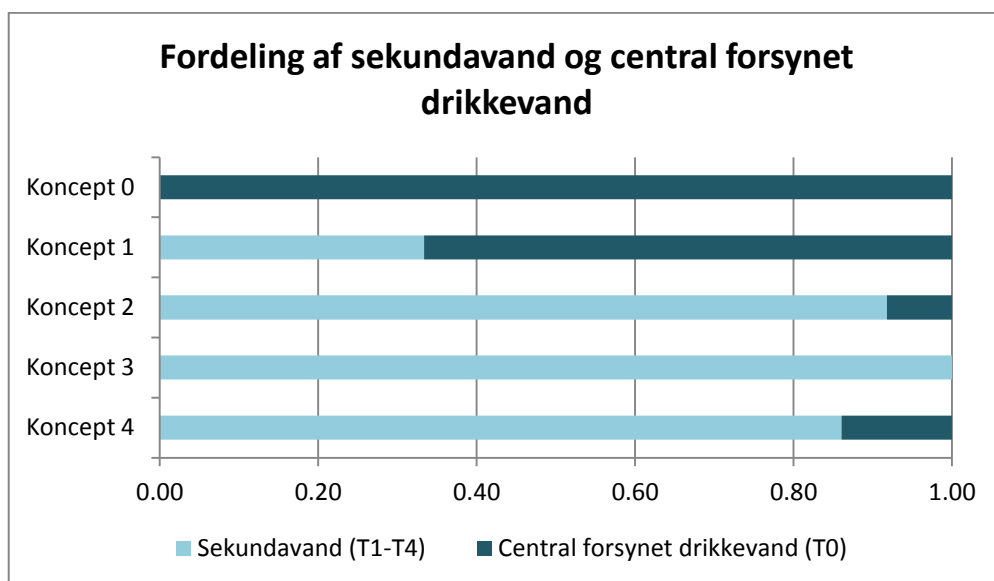
Teknologierne er dimensioneret til at kunne levere en forskellig mængde vand (Tabel 14.2). Denne grundliggende forskellighed skyldes at en lokal forsyning naturligvis ikke skal levere samme mængde som en mere centraliseret løsning, da mængden af aftagere er mindre. LCA'en håndterer denne forskellighed af koncepterne vha. den funktionelle enhed (se nedenfor).

Koncepterne (K1-K4) består af en sammensætning af teknologierne, hvor sekundavandsteknologierne (T1-T4) udgør så stor en andel som muligt, mens resten af vandforsyningen leveres af T0 (drikkevandskvalitet). Sekundavandsteknologien T3, er den eneste som har drikkevandskvalitet og derfor kan bruges til 100% af anvendelsesområderne for vandforsyningen (Tabel 14.3).

Tabel 14.3. Oversigt over mængden af vand i koncepterne der stammer fra grundvandsforsyningen som vi kender den i dag (T0), og andelen for en af de 4 teknologier (T1-T4), der indgår i undersøgelsen.

	Andel fra T0	Andel fra sekundavandsteknologi (T1-T4)
K1	0,67	0,33 (T1)
K2	0,08	0,92 (T2)
K3	0,00	1,00 (T3)
K4	0,14	0,86 (T4)

Fordelingen af sekundavand med en af teknologierne i undersøgelsen (T1-T4) og den centrale forsyning, som vi kender i dag (T0) er også afbilledet i Figur 14.2.



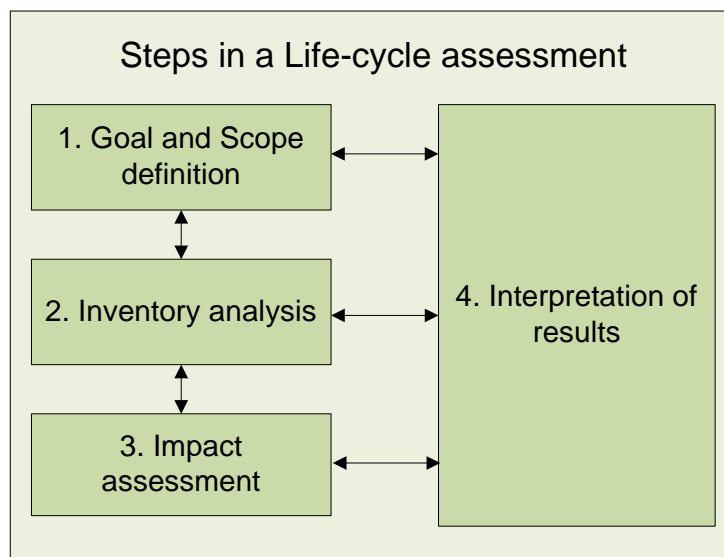
Figur 14.2 Angivelse af mængden af vand i koncepterne der stammer fra grundvandsforsyningen som vi kender den i dag (T0), og andelen for en af de 4 teknologier (T1-T4), der indgår i undersøgelsen.

Som nævnt før er teknologierne og koncepterne nærmere beskrevet i Forundersøgelsens rapport.

14.2 Den anvendte LCA-metode

Denne LCA er modelleret i GaBi 6, som er et software indkøbt fra virksomheden PE International. Der er primært anvendt lokale (selvmodellerede) og europæiske processer fra PE databasen. Den anvendte metode (life-cycle impact assessment) er ReCiPe, som er udviklet i et samarbejde mellem RIVM (Miljøministeriet, NL), CML (Institute of Environmental Sciences, Leiden (NL)) PRé Consultants (NL) og Radboud University Nijmegen (NL). ReCiPe-metoden er senest opdateret i 2008.

Denne rapport følger ISO 14044, som inddeler Livscyklusvurdering i 4 stadier: 1) Definition af mål (Goal & Scope, funktionel enhed og afgrænsning), 2) Dataopgørelse (Inventory analysis), 3) Vurdering af påvirkninger (impact assessment) og 4) Fortolkning (Interpretation of results), se Figur 14.3.



Figur 14.3 Oversigt over de 4 stadier i en Livscyklusvurdering (LCA – Life-cycle assessment)(modificeret efter ISO, 2006).

14.2.1 Goal & Scope

Målet med denne LCA er at miljøevaluere 4 koncepter, K1-K4, til forsyning af sekundavand til Nordhavnen, nærmere betegnet Trælstholmen og Sundmolen.

Resultatet skal primært indgå i afrapporteringen af forskningsprojektet "Nordhavn – en bydel i vandbalance (IP12)" under Vand i Byer partnerskabet, hvor det mest bæredygtige sekundavandskoncept søges. Resultatet kan dog også overføres til andre byområder hvor sekundavand ønskes, og en evaluering af miljøpåvirkning indgår. LCA'en er derfor både rettet mod forskningsprojektet og beslutningstagere i forbindelse med planlægning af sekundavandsforsyning i andre byområder.

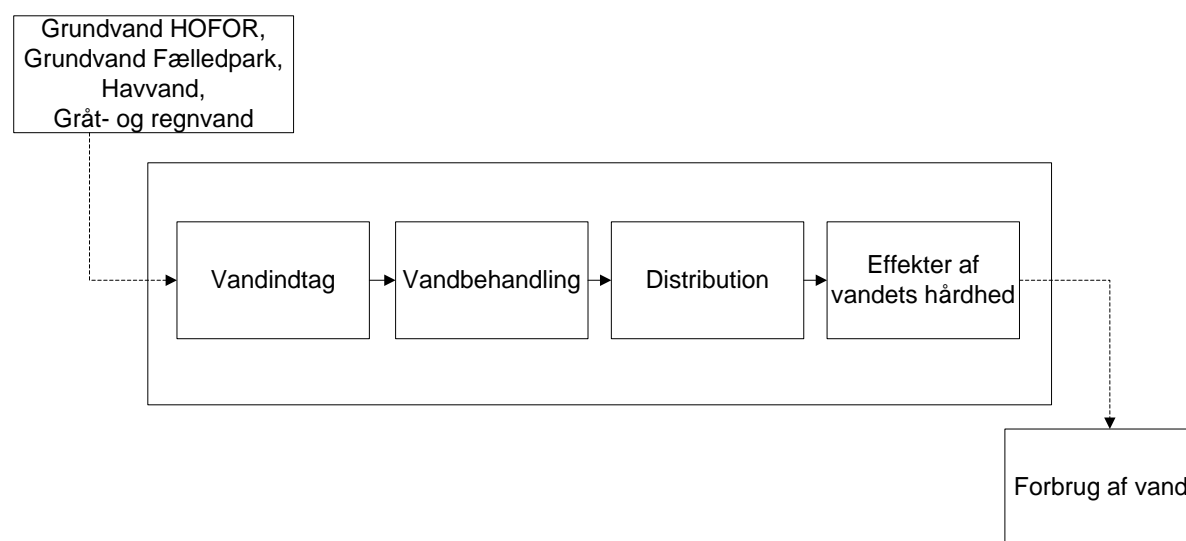
14.2.2 Funktionel enhed

Den funktionelle enhed er i denne rapport defineret som distribution af 1 m³ sekundavand i Nordhavnens Trælstholmen og Sundmolen. Det betyder, at alle input og output i LCA'en opgøres i forhold til 1 m³ sekundavand i den givne installation eller proces's levetid.

Den service som systemet (alle 3 alternativer) yder er, at det leverer 1 m³ sekundavand til beboerne eller erhverv i området. Der er for de enkelte koncepter forskelle på hvad sekundavandet kan anvendes til og dermed også hvor meget drikkevand, der substitueres. Derfor er det forskellige andele af sekundavand af det totale vandforbrug, der indgår i de enkelte koncepter (Tabel 14.3).

14.2.3 Afgrænsning af system

For alle 4 koncepter er medtaget de miljøomkostninger, der er ved at etablere koncepternes anlæg (kildeplads, vandindtag, vandværk, distributionsnet), produktion af anvendte materialer, driftsforbrug og endeligt deponering af materialer og anlæg efter endt levetid for de enkelte komponenter i koncepterne (Figur 14.4).



Figur 14.4. Systemafgrænsning, der viser de processer der er medtaget i LCA'en. Processer fra Vandindtag til Effekter af vandets hårdhed er med i LCA'en.

Under hårdtvands effekter indgår de konsekvenser, der er i husholdningerne af det hårdere vand (20 °dH/362 mg/L CaCO₃) for grundvandsksteknologierne (T0 og T1) i forhold til det blødeste vand i denne LCA, som findes for teknologierne T2-T4. T2 og T3 leverer vand med en hårdhed på 108 mg/L CaCO₃ (6°dH) (Rygaard, 2010; Rygaard *et al.*, 2009), og det antages at T4 leverer samme hårdhed.

14.2.4 Antagelser

De antagelser som konkret er gjort undervejs vedrørende dataindsamling er noteret nedenfor (Tabel 14.4).

Tabel 14.4 Antagelser anvendt i LCA af sekundavandskoncepter til Nordhavnen.

Beskrivelse af proces	Reference
Grundvandsindvindingen som vi kender den i dag (T0), beror på 2009 data.	Erfaringsdata indsamlet i HOFOR (dåværende KE) 2009 (Godskesen, 2012).
Hvis et sekundavandskoncept vælges vil T0 tilsvarende skulle nedsættes. Dette fører til stigende grundvandsstand i indvindingsopland, som muligvis skal afværges pumpes af hensyn til beboelse. Dette er ikke medtaget i LCA'en.	Godskesen et al. (2013) viser at afværges pumpning har en forholdsvis lav miljøpåvirkning.
For indvinding af grundvand i Fælledparken (T1) blev det antaget, at der skal etableres 7 borer og at vandværket vil svare til samme materialer per m ³ som et nuværende gennemsnitsvandværk i HOFOR.	Antagelse vedtaget for dette projekt (samtale med Maj-Britt Bøgeløv Poulsen)
Det antages at T1 ville skulle levere 0,5 mio m ³ /år.	Antagelse vedtaget for dette projekt (samtale med Maj-Britt Bøgeløv Poulsen).
Afsaltningsanlægget til T2 og T3 bygger på data fra en tidligere dimensionering af afsaltningsanlæg til København til 1,5 mio m ³ /år.	Rygaard et al., 2009
Data til regn- og gråtvandsanlægget blev ikke opgivet og i stedet anvendtes data fra en LCA af sekundavandsanlægget dimensioneret i 2009. I denne rapport indgik både et regn og gråtvandsanlæg til 85 personer. Det er data for disse to anlæg indgår.	Miljøstyrelsen, 2011.
Vedrørende levetider for bygninger og materialer antages det i LCA'en, at de er: <ul style="list-style-type: none"> - Kildeplads og vandværk (både til behandling af grund- og havvand) - Regn- og gråtvandsanlæg - Eksisterende forsynings- og hovedledninger - Forsynings-, stikledninger og stigrør i Nordhavnen (er indarbejdet i T0-T3) - Effekter af hårdt vand (T0-T1; 362mg/L eller 20°dH) i forhold til det blødeste vand i analysen (T2-T4; 108mg/L eller 6°dH). Disse tal indeholder også nogle levetider for vaskemaskine, opvaskemaskine, kaffemaskine, elkedel og toilet. 	Bygger på erfaringer og estimer fra HOFOR ansatte. 50 år (erfaringer og estimer fra HOFOR ansatte, Godskesen et al., 2013) 50 år (Miljøstyrelsen, 2011) 100 år for støbejern og beton; 75 år for PE (erfaringer og estimer fra HOFOR ansatte, Godskesen et al., 2013) 75 år (antagelse vedtaget for dette projekt) (Godskesen et al., 2012; Godskesen et al., 2013)
Det antages at hårdheden af regn- og gråtvandsanlægget (T4) er som det afspaltede havvand (T2-T3).	Antagelse vedtaget for dette projekt (samtale med Martin Rygaard)
End of Life medtaget for plastikmaterialer (50%) som afbrænding selvom sandsynlighed for det genbruges	Beslutning efter samtale med Morten Elton (HOFOR)
End of Life medtaget for stål (50%) som recirkulering til nye anvendelser	Estimat også anvendt i (Godskesen et al., 2013)
End of Life af betoner udeladt, da bygværker og rør sandsynligvis vil blive liggende. En sandsynlig End of Life proces ville være at beton bliver hugget op og anvendt i by til nye veje (i stedet for stabil grus)	Estimat også anvendt i (Godskesen et al., 2013)

14.2.5 Påvirkning af ferskvandet fra grundvandsindvindingen

I dag inddrager LCA ikke ferskvandsressourcen og dens knaphed. Dette er efterspurgt af mange virksomheder, da de ønsker at kunne angive deres "water footprint" eller en given aktivitets påvirkning af ferskvandsressourcen.

Vi har i dette studie anvendt en metode, som blev udviklet i forbindelse med et PhD-studie (Godskesen, 2012). Metoden inddrager den lokale grundvandsressource ud fra data fra Vandrammedirektivets vandplaner. Når denne miljøkategori medtages, er det tidligere vist at resultatet af standard LCA'en ændres kraftigt (Godskesen *et al.*, 2013), idet de teknologier, der ikke beror på grundvand favoriseres. I før refereret studie blev det påvist, at regnvand og afsaltning af havvand bliver de miljømæssigt mest favorable alternativer til vandforsyning, når de sammenlignes med grundvandsbaseret teknologier.

Da denne LCA af sekundavandskoncepter til Nordhavnen netop indeholder teknologier, der indvinder grundvand og ikke-ferskvandsressourcer (havvand og regnvand) inddrager vi denne kategori, da den forventes at få betydning for opgørelsen af miljøpåvirkningen.

Til at beregne påvirkningen af ferskvandsressourcen er beregnet den mængde ferskvand (Q) der indgår i 1 m³ leveret vand i de enkelte teknologier. Dette tal er fundet fra LCA'en, der også opgør dette.

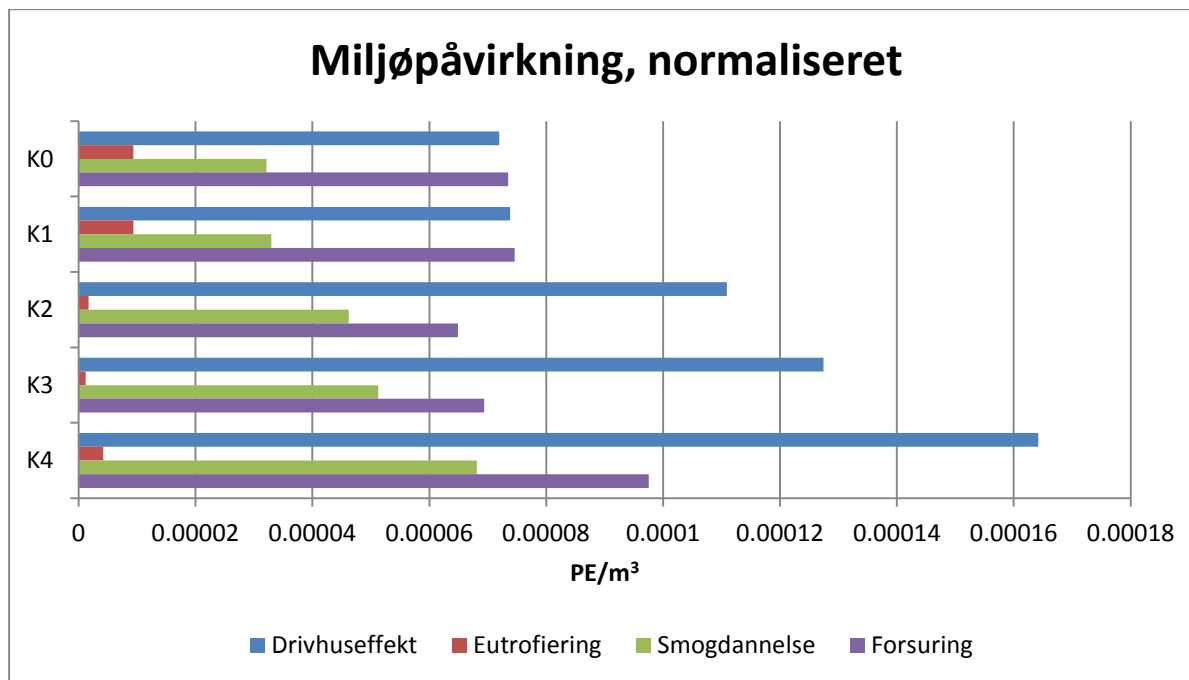
For at beregne påvirkningen skal Q ganges med en karakteriseringsfaktor, som er beregnet på samme måde som karakteriseringsfaktorerne (Wenzel *et al.*, 1997) for de andre miljøkategori på basis af data fra vandplanerne (Miljøministeriet, 2010).

14.3 Resultater

I det følgende præsenteres resultaterne fra LCA'en og de konklusioner, der kan drages.

14.3.1 Miljøpåvirkning fra standard LCA'en

Resultatet fra standard LCA'en viser, at de væsentligste påvirkninger af miljøet er i kategorierne drivhuseffekt, forsurening, smogdannelse og eutrofiering. Det normaliserede resultat i enheden personækvivalent (PE, se 1.2) er vist nedenfor (Figur 14.5).

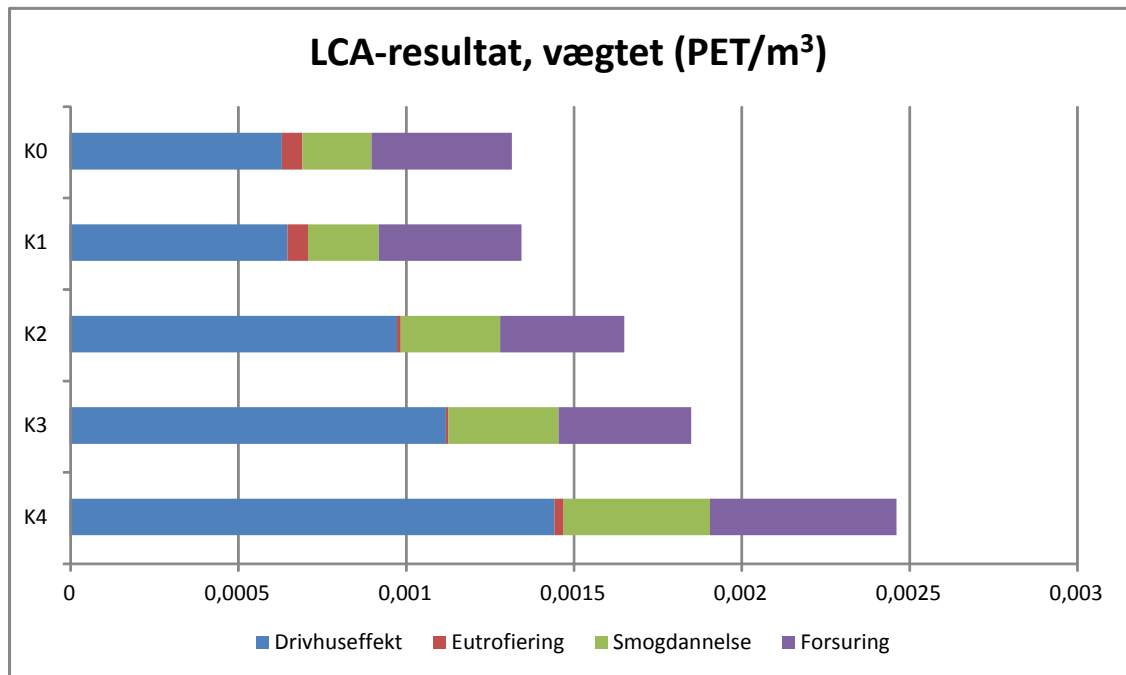


Figur 14.5. Det normaliserede resultat fra LCA af sekundavand til Nordhavn for grundvandsindvindingen, som vi kender den i dag (T0) og de 4 sekundavandskoncepter (K1-K4).

Drivhuseffekten er kategorien med den højeste påvirkning efterfulgt af forsurening, smogdannelse og eutrofiering.

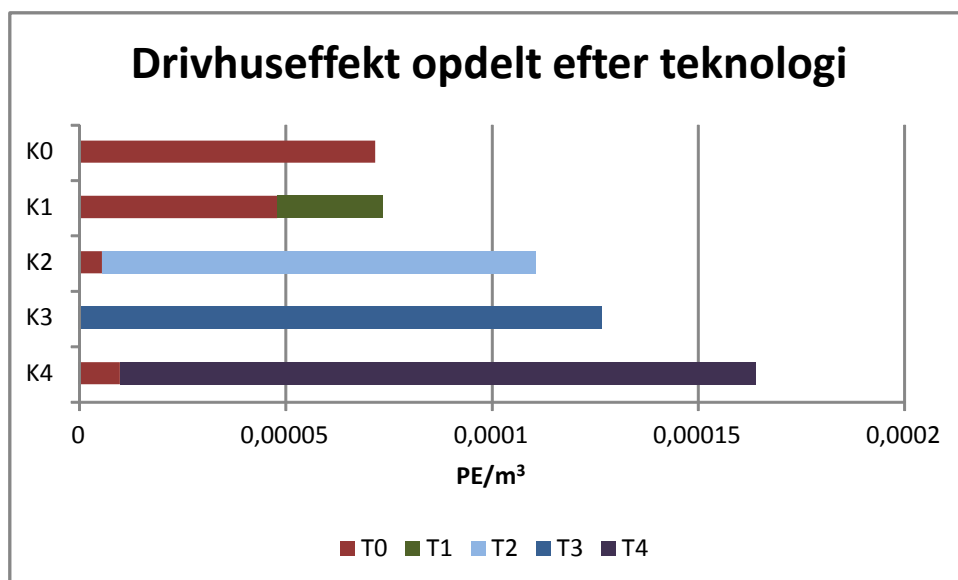
Miljøpåvirkningen er forholdsvis lav ($1,6E-4 - 0,5E-4 \text{ PE/m}^3$), hvilket er et udtryk for, at miljøpåvirkningen fra vandforsyning (både T0 og sekundavandsteknologierne) generelt er lav i forhold til en gennemsnitpersons miljøpåvirkning på et år. En anden årsag er, at tallene er opgjort per m^3 , og hvis det skal omregnes til en persons årlige miljøpåvirkning fra vandforsyning skal det ganges med årsforbruget. For en person i Nordhavnen forventes forbruget at være 90 L/p/d, hvilket svarer til $33 \text{ m}^3/\text{p}/\text{år}$. Selvom de vægtede resultater (Fig. 6) ganges med $33 \text{ m}^3/\text{p}/\text{år}$ er miljøpåvirkningen fra vandforsyning mindre end 0,25 % (0,13 - 0,25%) af den forventede samlede miljøbelastning for en gennemsnitsperson.

Både det normaliserede (Figur 14.5) og vægtede (Figur 14.6) resultat viser, at K0 og K1 har de laveste miljøpåvirkninger ($1,3 - 1,4 \text{ mPET/m}^3$), og at miljøpåvirkningen stiger fra K1 til K4 ($1,4 - 2,5 \text{ mPET/m}^3$).

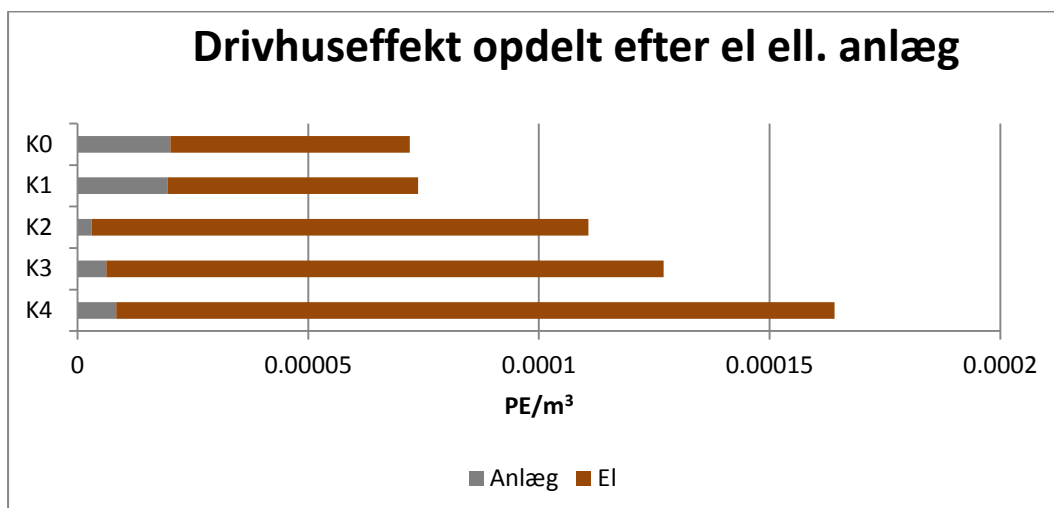


Figur 14.6 Det vægtede resultat fra LCA af sekundavand til Nordhavn for grundvandsindvindingen, som vi kender den i dag (K0) og de 4 sekundavandskoncepter (K1-K4).

Det er valgt at kigge lidt nærmere på, hvor bidragene til drivhuseffekten stammer, da drivhuseffekten som før nævnt, er kategorien med den højeste påvirkning. I Figur 14.7 og Figur 14.8 fremgår det, at bidraget til drivhuseffekten for K0 og K1 udelukkende eller primært stammer fra grundvandsteknologien, som vi kender den i dag (T0), mens den for K2-K4 primært stammer fra sekundavandsteknologierne. Dette skyldes især, at størstedelen af vandet leveres fra henholdsvis T0 eller sekundavandsteknologierne (T2-T4) (Tabel 14.3).



Figur 14.7 Opdeling af miljøpåvirkningen i kategorien drivhuseffekt efter teknologi.

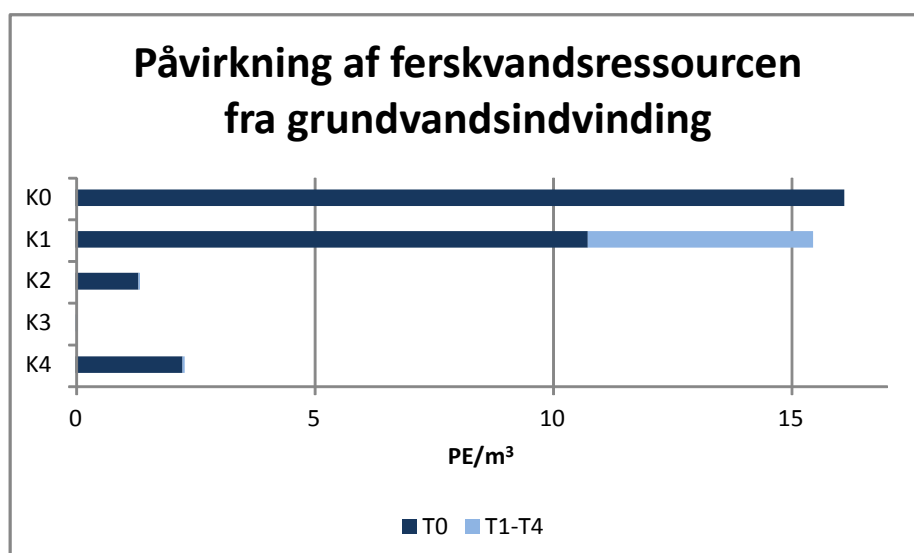


Figur 14.8 Opdeling af miljøpåvirkningen i kategorien drivhuseffekt efter teknologi og elektricitet (el) eller anlæg.

Når drivhuseffekten yderligere opdeles i hvorfra bidraget kommer (Figur 14.8) dvs. hvilken teknologi fordelt på elektricitet (el) eller anlæg, fremgår forskellighederne for koncepterne. Det er tydeligt, at drivhuseffekten for afsaltning af havvand (K2 og K3) samt regn- og gråtvandskonceptet (K4) har et stort bidrag fra elektricitetsforbruget (95-96%). Det ses også, at grundvandskoncepterne (K0 og K1) har et forholdsvis højt bidrag fra anlæg (26-28%), hvilket primært skyldes effekterne af vandets hårdhed.

14.3.2 Påvirkning af ferskvandsressourcen fra grundvandsindvindingen

Påvirkningen af ferskvandsmiljøet fra grundvandsindvindingen er beregnet for de 4 koncepter og K0. Det ses, at K0 og K1 har de højeste påvirkninger (15,5 – 16,1 PE/m³) (Figur 14.9) og at størstedelen af bidraget stammer fra grundvandsindvindingen, som vi kender den i dag (T0).



Figur 14.9. Påvirkning af ferskvandsmiljøet fra grundvandsindvindingen.

Det ses også, at ferskvandspåvirkningen fra K2 og K4, samt især K3, er forholdsvis lille ($0,04 - 2,3 \text{ PE/m}^3$). Det skyldes, at disse ressourcer beror på en ressource, som ikke er en del af ferskvandsressourcen. K2 og K3 er baseret på indvinding og afsaltning af havvand, mens K4 opsamler regn- og gråtvand. Både regn- og gråtvand er to ressourcer, som hvis de ikke blev opsamlet blev ledt enten direkte (regnvand) eller via spildevandssystemet (gråtvand) i Øresund.

Påvirkningerne fra K2 og K4 kan stort set tilskrives den andel af konceptet, der stammer fra T0. De 3 koncepter, K2-K4, har et meget lille bidrag fra det ferskvandsforbrug, som anvendes til at etablere systemerne.

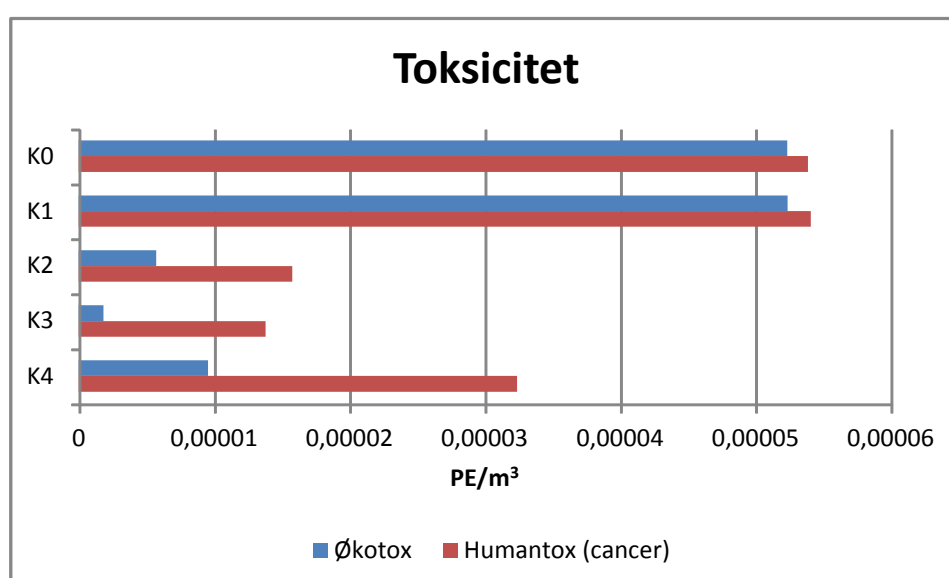
Det er særligt interessant, at denne miljøkategori har den højeste påvirkning ($0,04 - 16,1 \text{ PE/m}^3$) og hvis den fik den lavest tænkelige vægtning (værdien 1) vil den ændre resultatet fra de andre vægtede miljøkategorier (Figur 14.8) så den ligner den for påvirkning af ferskvandsressourcen fra grundvandsindvindingen (Figur 14.9) – dvs. at K3 er konceptet med den laveste påvirkning efterfulgt af K2 og K4 samt at K1 og K0 har den højeste miljøpåvirkning.

På nuværende tidspunkt er påvirkning af ferskvandsressourcen ikke en del af standard LCA værktøjet, men det forudses at denne kategori på sigt integreres i miljøpåvirkning på lige fod med f.eks. drivhuseffekt (Godskesen, 2012).

14.3.3 Toksicitet

I kategorien toksicitet påvirker vandets høje hårdhed resultatet i en negativ retning. Koncepterne K0 og K1 har en forholdsvis stor toksicitetspåvirkning (ca. $5,4\text{E-}5 \text{ PE/m}^3$), som primært stammer for det ekstra sæbeforbrug både til vasketøj og personlig hygiejne som følge af det hårde vand (Figur 14.10).

Gråt- og regnvandsanlægget (K4) har den næsthøjeste påvirkning ($3,2\text{E-}5 \text{ PE/m}^3$) efter K0 og K1, og bidraget hertil stammer fra plastikmaterialer til etablering af anlægget.



Figur 14.10 Påvirkning af toksicitet opgjort efter øko og human toksicitet.

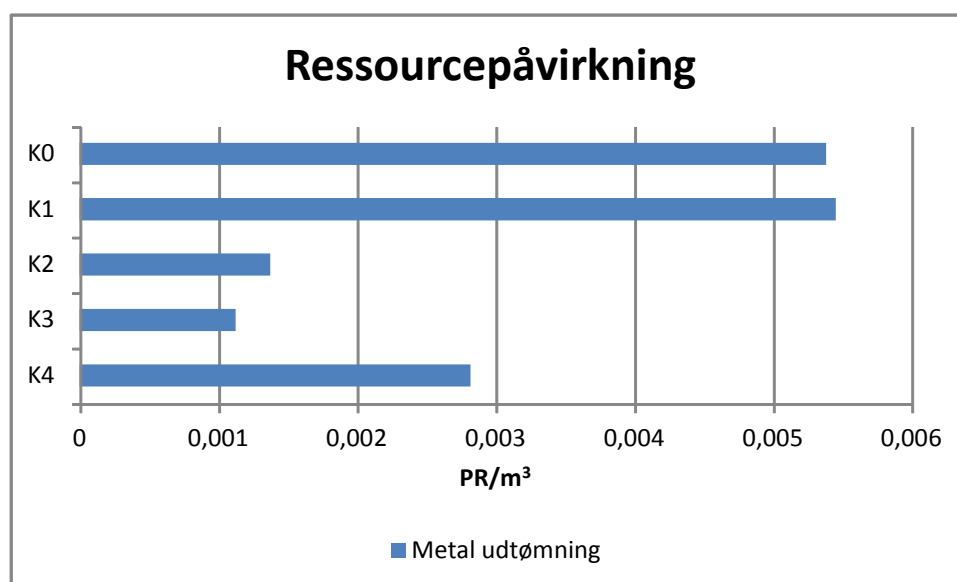
For toksicitet gælder det ligesom for miljøpåvirkningen at påvirkningerne er forholdsvis små ($5,7\text{E-}6$ – $5,4\text{E-}4$ PE/ m^3).

14.3.4 Ressourcer

Metal-udtømning er et udtryk for ressourcepåvirkning af koncepterne. Det ses at K0 og K1 har den højeste påvirkning (ca. $5,4\text{E-}3$ PE/ m^3) efterfulgt af K4 (Figur 14.11).

For K0 og K1 stammer bidraget fra hårdtvandseffekter, der får husholdningsapparater til at leve kortere tid. For K4 stammer bidraget primært fra anlægget (lokal vs central). Koncepterne med semi-centrale forsyninger (K1-K3) (Tabel 14.2) har dobbelte distributionssystemer (et til drikkevand og et andet til sekundavand), men der ses ikke en øget påvirkning som følge af dette. Det dobbelte distributionssystem resulterer dermed ikke i en øget miljøbelastning, da det ikke vejer tungest i ressourcedelen.

En af årsagerne til det er, at distributionssystemet i Nordhavnen antages anlagt i plastik (PE-materialer) og disse vil have en større indvirkning på drivhuseffekten end ressourcedelen. Det ses dog heller ikke (Figur 14.8) at der her er en øget påvirkning fra det dobbelte distributionssystem.



Figur 14.11 Ressourcepåvirkning opgjort i metaludtømning-ækvivalenter.

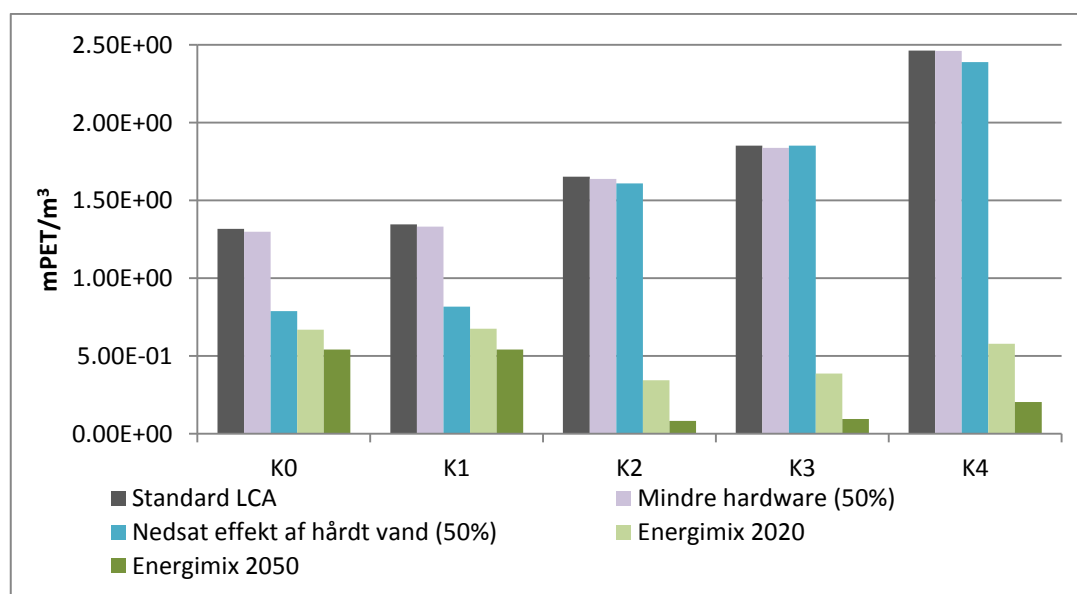
14.3.5 Følsomhed

Udvalgte parametre blev ændret for at evaluere robustheden af resultaterne fra standard LCA'en. De udvalgte parametre er:

- 50% mindre hardware i form af materialer til anlæg og komponenter såsom kildeplads, vandværk, distributionsrør;
- 50% lavere betydning af effekterne af det hårdere vand i T0 og T1;
- et energimix i henhold til danske politiske målsætninger for el i 2020 og 2050, hvor hhv. 50 og 100% af elektriciteten stammer fra vedvarende energikilder (Klima-, energi- og bygningsministeriet, 2012).

Resultatet af følsomhedsanalysen (Figur 14.12) viser, at en halvering af materialer til anlæg ikke ændrer benævnelsesværdigt på resultatet af LCA'en, hvilket betyder, at resultatet er robust vedrørende parameteren materialer.

En reduktion af effekterne af det hårde vand på 50% har betydning for især K0 og K1 (de grundvandsbaserede koncepter), hvilket stemmer overens med Godskesen *et al.* (2012), der viste at effekterne af det hårde vand har en relativ stor betydning. For K2 og K4 ændres resultatet kun lidt da andelen af grundvandsbaseret drikkevand (T0) i konceptet er lille, mens resultatet er uændret for K3, da der ikke indgår hårdt grundvand i dette koncept. Følsomheden viser, at resultaterne fra standard LCA'en ikke kan anvendes, såfremt der indføres central blødgøring af grundvandsbaseret drikke- eller sekundavand, da effekterne af det hårde vand har en stor betydning for den samlede miljøpåvirkning.



Figur 14.12 Resultatet af følsomhedsanalysen, hvor parametrene mindre hardware (anlæg), effekter af hårdt vand, Energimix i henhold til danske politiske målsætninger for el i 2020 og 2050 er ændret. Den første søjle (grå) er resultatet fra det vægtede resultat af standard LCA'en, som også er præsenteret i figur 6.

Det ses af følsomhedsanalysen (Figur 14.12), at de fremtidige forventninger til andelen af vedvarende energi reducerer miljøpåvirkningen fra standard LCA'en signifikant, både når den vedvarende andel udgør 50% (Energimix 2020) og især når den udgør 100% (Energimix 2050). Med en energisammensætning som forventes i 2050 bliver afsaltning af havvand (K2 og K3) og regn- og gråvandsanlæg (K4) mest favorable sammenlignet med de grundvandsbaserede koncepter, som fortsat antages uden central blødgøring. Dog resulterer de ikke grundvandsbaserede koncepter (K2-K4) i et øget elektricitetsforbrug, hvilket ikke er miljømæssigt ønskeligt med mindre det højere energiforbrug baseres på overskudselektricitet fra el-nettet. Blødgøres de grundvandsbaserede forsyninger centralt vil det nedsætte deres miljøpåvirkninger.

Der er ikke lavet følsomhedsanalyse af parameteren påvirkning af ferskvandsressourcen fra grundvandsindvindingen, da det tidligere er fundet, at denne miljøkategori er robust og i øvrigt har en højere påvirkning end de andre miljøkategorier (Godskesen, 2013).

14.4 Konklusioner

De overordnede konklusioner præsenteret i resultatafsnittet angivet efter hovedoverskrift er:

Miljøpåvirkning fra standard LCA'en

- Både det normaliserede og vægtede resultat viser, at K0 og K1 har de laveste miljøpåvirkninger ($1,3 - 1,4 \text{ mPET/m}^3$), og at miljøpåvirkningen stiger fra K1 til K4 ($1,4 - 2,5 \text{ mPET/m}^3$).
- Drivhuseffekt er den kategori med det højeste bidrag, og når den opdeles i hvorfra bidraget kommer, er det tydeligt, at drivhuseffekten for afsaltning af havvand (K2 og K3) samt regn- og gråtvandskonceptet (K4) har et stort bidrag fra elektricitetsforbruget (95-96%). Det ses også, at grundvandskoncepterne (K0 og K1) har et forholdsvis højt bidrag fra anlæg (26-28%), hvilket primært skyldes hårdtvandseffekterne.

Påvirkning af ferskvandsressourcen fra grundvandsindvindingen

- K0 og K1 har den højeste påvirkning ($15,5 - 16,1 \text{ PE/m}^3$), som primært stammer fra grundvandsindvindingen, som vi kender den i dag (T0).
- Påvirkningen fra K2 og K4, samt især K3, er meget lille ($0,04 - 2,3 \text{ PE/m}^3$). Det skyldes, at disse ressourcer beror på en ressource, som ikke er en del af ferskvandsressourcen.
- Hvis påvirkning af ferskvandsressourcen integreres i standard LCA'en vil konklusionen fra Miljø ændres (første pointe) sådan at K3 er konceptet med den laveste påvirkning efterfulgt af K2 og K4 samt at K1 og K0 har den højeste miljøpåvirkning. Ferskvandsressourcen er på nuværende tidspunkt ikke integreret i standard LCA'en.

Toksicitet

- Koncepterne, der beror på grundvand (K0 og K1), har den højeste påvirkning (ca. $5,4E-5 \text{ PE/m}^3$) i kategorien toksicitet. Det skyldes det ekstra sæbeforbrug (vasketøj og personlig hygiejne), som følge af det hårde vand.
- Gråt- og regnvandsanlægget (K4) har den næsthøjeste påvirkning ($3,2E-5 \text{ PE/m}^3$) efter K0 og K1, hvilket skyldes plastikmaterialer til etablering af anlægget.

Ressourcer

- K0 og K1 har den højeste påvirkning (ca. $5,4E-3 \text{ PE/m}^3$) i kategorien ressourcer. Det skyldes effekterne fra vandets hårdhed, der reducerer levetiden af husholdningsapparater.
- Det ekstra distributionssystem giver ikke anledning til nogen særlig forhøjet miljøpåvirkning hverken i resultaternes ressourceandel eller drivhuseffekten (distributionssystemet i Nordhavnen antages udført i plastikmaterialer og derfor er drivhuseffekten relevant).

Følsomhedsanalyse

- Med den forventede elektricitetssammensætning for 2050 ændres koncepterne med et højt energiforbrug - afsaltning af havvand (K2 og K3) og regn- og gråtvandsanlæg (K4) - fra at være dem med den højeste miljøpåvirkning til den laveste. Resultaterne er kun gældende når, der ikke foretages central blødgøring af grundvandsbaseret drikke- og sekundavand. Blødgøres vand centralt vil det nedsætte miljøpåvirkning af de grundvandsbaserede teknologier.

14.5 Referencer

- Godskesen B. (2012). Sustainability evaluation of water supply technologies - by using life-cycle and freshwater withdrawal impact assessment & multi-criteria analysis. PhD Thesis, Technical University of Denmark (DTU Env), Copenhagen.
- Godskesen B., Hauschild M. Z., Rygaard M., Zambrano K. C. & Albrechtsen H. J. (2013). Life-cycle and freshwater withdrawal impact assessment of water supply technologies. *Water research*. **47**(7), 2363.
- Godskesen B., Hauschild M., Rygaard M., Zambrano K. & Albrechtsen H. -. (2012). Life cycle assessment of central softening of very hard drinking water. *J Environ Manage*. **105**.
- ISO (2006). Environmental management - Life Cycle Assessment - Requirements and guidelines - ISO 14044, ISO 14044:2006, European Committee for Standards, rue de Stassart, 36, B-1050 Brussels.
- Klima-, Energi- og Bygningsministeriet (2012). Energiaftalen. http://www.kemin.dk/en-US/Climate_and_energy_policy/Denmark/energy_agreements/Sider/Forside.aspx.
- Kokborg M.(2013). Beskrivelse af vægtningsmetoden i LCIA Survey udført 2012 af PE International. Personlig korrespondance omkring metoden.
- Miljøministeriet, By- og Landskabsstyrelsen (2010). <http://www.blst.dk/Vandrammedirektivet/Fakta+om+vandrammedirektivet/06010000.htm>. (accessed june 4th 2010).
- Miljøstyrelsen (2011). Livscyklusvurdering af anlæg til forsyning af sekundavand i København, ISBN 978-87-92708-29-8. København, Danmark.
- Rowley H. V., Peters G. M., Lundie S. & Moore S. J. (2012). Aggregating sustainability indicators: Beyond the weighted sum. *J Environ Manage*. **111**, 24-33.
- Rygaard M. (2010). Desalinated water in urban water supplies - a systems approach to identify optimal drinking water composition. PhD Thesis, Technical University of Denmark (DTU Env), Copenhagen.
- Rygaard M., Albrechtsen H. J., Arvin E. and Binning P. J. (2009). A5 Opstilling af tjekliste og evaluering af afsaltningsscenarie for København. DTU Miljø, København.
- Wenzel H, Hauschild MZ, Alting L (1997). Environmental assessment of products - 1: Methodology, tools and case studies in product development. In: Kluwer Academic Publishers, Hingham, MA. USA, Chapman & Hall, United Kingdom.

15. Borger/kundeperspektiver

Birgitte Hoffmann & Lene Alsbjörn, Aalborg Universitet, Center for Design, Innovation and Sustainable Transition. (www.c-dist.dk)

I Danmark har vi en lang tradition for og erfaring med at bruge rent grundvand, der ikke har gennemgået en kemisk rensning, i husholdningerne. I undersøgelsen af borger- og kundeperspektiver vedrørende brug af sekundavand er formålet at få en forståelse for borgernes/kundernes holdninger, værdier og bekymringer ved at bruge sekundavand og forskellige typer af vandkvaliteter i boligen. De spørgsmål, som undersøgelsen således søger at bidrage til er således: Hvad tænker borgerne/kunderne om at flytte ind i en bolig med en anden type vandkvalitet i toiletet/vaskemaskinen/bruseren mv. set i forhold til at dette bryder med traditionen for rent grundvand i boligen? Hvad har betydning for at borgerne/kunderne har tillid til at vandet i boligen er rent og risikofrit at drikke? Hvilke værdier og argumenter kan identificeres i relation til at bruge andre vandkvaliteter? Hvilke værdier og initiativer skal der arbejdes med, hvis der skal indføres systemer med sekundavand i Nordhavn?

15.1 Nye perspektiver og praksisser i vandforsyningen

Gennem mere end 150 år har vandforsyning og spildevandshåndtering udviklet sig til at blive en mere og mere usynlig service for borgerne/kunderne. En helt central målsætning har været at forsyne et stigende antal boliger og offentlig og private virksomheder med stigende mængder vand af høj kvalitet som grundlag for sundhed og vækst. Forskning viser, at opbygningen af vandsystemet må forstås som et socio-teknisk system, der således ikke kun handle om en fysisk infrastruktur, men også en række værdier og praksisser og professioner. Det har blandt andet udmøntet sig i en tradition for forsyning med én vandkvalitet og en skarp ansvarsfordeling mellem forbrugere og professionelle. Borgerne /kunderne skal ikke bekymre sig / tænke over vandforsyning og spildevandshåndtering, idet der er særlige myndigheder og organisationer og forskellige grupper af professionelle faglige grupper som spildevandsingeniører, kloakmestre mv., der varetager håndteringen i de store systemer. (Lindegaard H; 2001: 281) Vandhåndteringen er således en 'usynlig' by for borgerne/ kunderne både fordi den gemmes under jorden og i store anlæg i udkanten af byen, men også fordi varetages af professionelle 'bag scenen' i hverdagen.

Introduktionen af at bruge sekundavand i boliger lægger således op til at brud med tradition med rent grundvand som den eneste vandkvalitet i husholdninger, og også borgernes/kundernes passive rolle. Den kan samtidig ses som en del af en udvikling over længere tid internationalt og også i Danmark, der har fokus på vand som ressource. Miljø- og ressourceproblemer og ønsket om øget bæredygtighed stiller på forskellige måder krav om at tænke i vandkredsløb og vandbalancer og i sammenhæng hermed på at inddrage borgernes/kunderne i en mere aktiv rolle fx i forhold til at spare på vandet i husholdningen og forebygge forurening gennem at undlade pesticider og miljøfarligt affald i afløbet. I Københavns Kommune har man således gennem mere end 20 år arbejdet med at nedsætte forbrugernes vandforbrug gennem forskellige tiltag som opsætning af vandmålere, generelle informationskampagner og oprettelse af lokale miljøkontorer. (Hoffmann et al. 2005) Vand i byen ses også i stigende grad som en væsentlig kvalitet med rekreative potentialer, ikke mindst med omdannelsen af Københavns Havn og med åbningen af Havnebadet i 2002. (Jensen et al.

2013) Endelig er regnvand kommet på dagsorden gennem et antal hændelser med ekstrem regn, der har medført oversvømmelser i byen, og der er kommet øget på fokus på belægningsgrader og håndtering af regnvand uden om kloakerne til spildevand.

Brug af flere vandkvaliteter i boligen vil i lighed med vandbesparelser formodentlig kræve en generel accept og større viden blandt borgere/kunderne om vandkredsløb og vandsystemet og sundhedsrisici, og eventuelle lokale forsynings- og gråvandsanlæg vil kræve en høj grad af lokal accept og medvirken. Dette vil også have betydning for udviklingen af de professionelles rolle og relationer med borgerne og brugere.

Mere aktive forbrugerrolle sætter på den ene side fokus på forbrugere af vand som borgere, der har både indflydelse og ansvar i forhold til samfundets og fællesskabets håndtering af vand. Samtidig er der på den anden side indenfor de sidste år gennemført en liberalisering og selskabsgørelse af forsyningerne i Danmark, der fokuserer på pris som et væsentligt parameter og understreger kundeperspektivet i forbrugernes rolle. Denne dobbelte/modsætningsfyldte og uafklarede rolle er fastholdt gennem vores brug af begrebet borger/kunde. Det er disse problemstillinger og ændringer af vandsystemet og dets praksis, værdier, viden og roller, som denne undersøgelse handler om.

15.2 Undersøgellesdesign – fokus på omstilling

Undersøgelsen bygger på en dynamisk forståelse af vandhåndtering og byudvikling, som en del af en omstillingsdagsorden for øget bæredygtighed i København, såvel som i det øvrige Danmark og globalt.

Selv om vores præferencer og praksisser i vandhåndtering og mere generelt i bolig- og byudvikling er præget af stor træghed, der blandt andet hænger sammen med den ovenfor nævnte mangeårige opbygning af det byggede miljø og vores infrastrukturelle systemer, så er der løbende dynamikker, og nye løsninger og argumentationer, der stort set var ukendte for et par år siden er nu på vej til at blive almene. Ideen om at tænke i vandkredsløb er fx kommet på en bredere dagsorden inden for de sidste 15 år, hvilket kan ses i EU's vandrammedirektiv, mens klimatilpasning er dukket op som et afgørende tema inden for de sidste 5 år. Brown et al. (2009) beskriver således en række faser i de vestlige samfunds håndtering af vand, der går fra at handle om at forsyne, kloakere og dræne til i stigende grad også at inddrage miljømæssige aspekter og at tænke i social og økonomisk bæredygtighed. På den baggrund arbejder mange byer mere helhedsorienteret med vandet i byernes fysiske udtryk og sociale liv.

En sammenhængende væsentlig forandring er at de store byer i højere grad forstås som attraktive steder at bo. Det at ville bo i (stor)byen som en familie med børn er en præference, der udviklet inden for de sidste 20 år og prisen på boliger er stedet radikalt. Tidligere søgte de, som havde råd ud mod forstædernes rene luft og private haver. Den økonomiske og demografiske udvikling har også skabt et nyt 'segment' i de såkaldte "+50", der har tid og lyst og råd til at bo i og opleve byens kvaliteter. I sammenhæng med dette er byen som et bæredygtigt og kreativt sted en strategisk overskrift for København i den aktuelle regionale og globale konkurrence om udvikling og vækst. Nordhavn som en bæredygtig bydel har en væsentlig rolle som et fyrtårn i denne strategi.

Vi mener således ikke, det vil være hensigtsmæssigt at gennemføre undersøgelser, der fokuserer på borgernes /kundernes eksisterende præferencer og praksisser, der i stor udstrækning er bundet til det eksisterende system, og dermed ikke lægger op til den omstilling, som Nordhavsprojektets arbejde med sekundavand jo også er en del af. Vi har valgt at gennemføre en undersøgelse, der i højere grad tager et proaktivt perspektiv gennem at undersøge dynamikkerne og mulighederne for at introducere boliger med sekundavand overfor kommende borgere/kunder i bydelen. Valget af system i Nordhavn vil således også kunne medvirke til at udvikle den generelle håndtering af vand i Danmark og den rolle beboere fremover skal spille i forhold til vandforsyningen.

I forlængelse af ovenstående dynamiske udvikling er det valgt at gennemføre en eksplorativ og kvalitativ undersøgelse, som på forskellig vis udforsker værdier og dynamikker, der er på spil i dette felt. Målet er således at udspænde et bredt felt af dynamikker og argumenter, og på den måde styrke vidensgrundlaget for at kunne diskutere og evt. fremme de valgte koncepter. Undersøgelsen rummer en række forskellige elementer, der supplerer hinanden: Der er gennemført en quick poll på Hofors (daværende Københavns Energi) hjemmeside i en periode på 3 uger og en rundringning til et nyt byggeri i Sydhavn. Der er gennemført et fokusgruppeinterview med borgere/kunder, der er tilfældig udvalgt fra quick-pollen samt interviews med beboere fra byggeriet i Sydhavn samt almene boliger i København. Herunder er der gennemført interviews med borgere/kunder, der har erfaring med sekundavand i to forskellige byggerier i København. Der er gennemført to workshops med professionelle aktører i relation til vandhåndtering og byudvikling i Nordhavn. I alt har 37 personer deltaget i interviews, fokusgruppe eller workshops, og 95 brugere har svaret på Quick Pollen, mens 50 personer har deltaget i den telefoniske survey.

Interviewene har været semistrukturerede med vejledende temaer og spørgsmål. Under interviewene er der gået i dybden med de enkelte spørgsmål, og interviewpersonerne har givet en detaljeret beskrivelse styret af deres egne erfaringer og ideer. Der har været fokus på at have en åbenhed overfor nye vinkler, detaljerighed og variationer i de gennemførte interviews, og når interviewpersonerne kom ind på nye vinkler, erfaringer eller overvejelser er der set bort fra temaerne i interviewguiden. (Christiansen, B.M., 1994; 1-12) Metoden i workshopperne er inspireret fra aktionsforskning og living-labs og har haft fokus på at åbne op for en kreativ og åben dialog mellem deltagerne og få diskussioner og forskellige vinkler i spil.

Det er således fravalgt at gennemføre en kvantitativ undersøgelse i form af fx. spørgeskemaundersøgelser, hvor man får en række ensartede kvantificerbare data, som på forhånd er inddelt i kategorier, fra en bred og evt. mere repræsentativ skare af personer. Fordelen ved de kvalitative interviews er netop at det er muligt at få et mere dybdegående indblik dynamikkerne i borgere/kunders holdninger og erfaringer samt at få en vifte af vinkler og perspektiver på emnet.

15.3 Uddybning af metode - interview og workshops

Formålet med at gennemføre Quick Pollen var at identificere tilfældige borgere fra København til at deltage i en fokusgruppe om sekundavand. Quick Pollen blev gennemført i uge 32 – 34 på Hofors (daværende Københavns Energis) hjemmeside. Brugere af hjemmesiden havde mulighed for at svare på følgende spørgsmål: *"Kunne du forestille dig at bo i et byggeri, hvor der anvendes regnvand til toiletskyt?"* Selv om der ikke indgår regnvand i koncepterne for

Nordhavn, blev regnvand valgt som udgangspunkt for spørgsmålet af hensyn til enkelheden. Det ville ikke i en quick-poll være muligt først at skulle forklare begrebet sekundavand. Ordlyden af spørgsmålet blev testet forinden blandt omkring 10 forskere og 'almindelige' borgere/kunder i forskernes omgangskreds. Der var desuden fire afkrydsningsspørgsmål om køn, alder, familieform og boligform. Endelig var det muligt for respondenterne at skrive uddybende kommentarer, hvilket 51 respondenter ud af 95 valgte at gøre (26 mænd og 25 kvinder). Endelig var det muligt at krydse af, om man ville deltage i et fokusgruppeinterview efterfølgende, hvilket 81 personer gjorde. Der blev i november gennemført en fokusgruppe med fem tilfældigt udvalgte borgere fra denne quick poll, der kunne på et konkret tidspunkt. Det viste sig dog, at en person boede i Albertslund.

Da der endnu ikke er flyttet borgere ind i Nordhavn, har vi desuden valgt en målgruppe, der kan ses som potentielle beboere i Nordhavnsområdet. Dette er beboere fra områder i Sydhavn, som minder om området og de planlagte boliger i Nordhavn, tæt på vandet og kort til Københavns Centrum. Med henblik på at identificere interviewpersoner blev der foretaget opringninger til 50 tilfældige beboere i Sydhavn, som fik stillet spørgsmålet som i quick pollen. Ud af disse blev der gennemført to kvalitative interviews. Quick Pollen bidrog desuden med temaer, som indgik i interviews og workshops.

Der er foretaget interviews med beboere, der allerede har installeret sekundavand fra BO90 eller Nordhavnsgården. BO90 er en ejendom med 17 boliger, det blev opført i 1993 i et samarbejde mellem en beboergruppe på Nørrebro og FSB, Foreningen Socialt Boligbyggeri. I byggeriet indgår en lang række byøkologiske tiltag, bl.a. bliver regnvandet genbrugt i toiletter, og der er gennemført eksperimenter med recirkulering af gråvand, der dog ikke er blevet permanent. (2012.12.07 danskbyøkologi.dk) Nordhavnsgården er en almen boligejendom på Østerbro, der ialt har 295 lejligheder. På grund af et meget højt vandforbrug har man søgt alternative vandkilder. I Nordhavnsgården blev der således i 2003 etableret et gråvandsanlæg, hvor en tredjedel af boligerne genbruger vand fra bruser og håndvask i badeværelserne til toiletskyl. I 2011 blev der etableret et anlæg, hvor de resterende boliger bruger lokalt grundvand, der ikke har drikkevandskvalitet, til toiletskyl. Formålet med disse interviews er at få en forståelse for borgere/kunders oplevelse af at skifte fra at bruge udelukkende grundvand til også at bruge sekundavand i boligen, hvilke værdier og problemer, de har oplevet, hvilke overvejelser de har gjort sig om at have installeret sekundavand, og hvilke synspunkter de på den baggrund har om de koncepter, der bliver overvejet i dette projekt til Nordhavn.

Ovenstående aktiviteter har rettet sig mod borgere og beboere som forbrugere og lægfolk i vandsystemet. Der er desuden gennemført en workshop med professionelle, der har viden inden for områder som vand, miljø, byudvikling og borgerdeltagelse. Disse er naturligvis også beboere og forbrugere og har egne hverdagserfaringer. Formålet med denne workshop var dels at belyse de professionelles perspektiver på borgerroller i vandhåndtering, og dels at få aspekter frem, som de fandt vigtige i forhold til introduktion af sekundavand i boliger. Endelig er der gennemført en workshop med de deltagende partnere i projektgruppen. Formålet med denne workshop var først at undersøge gruppens forskellige perspektiver i relation til borger/kunder og sekundvand, og dernæst at diskutere resultaterne fra nærværende undersøgelse med henblik på at kvalificere koncepterne og borgerinvolveringen i Nordhavn. I Tabel 15.1 ses en oversigt over empirien bag undersøgelsen.

Alle vandkvaliteterne i projektets koncepter er bragt i spil i alle interviews og workshop. I Quick Pollen og telefonsurveyen er der som nævnt taget afsæt i regnvand som en type af sekundavand, og in interviews har regnvand også indgået parallelt med de øvrige typer af sekundavand, der indgår i projektets udvalgte koncepter.

Tabel 15.1. Oversigt over undersøgelsens empiri

	Interviews	Fokusgruppe	Workshops	Quick Poll
Borgere/kunder uden erfaring med sekundavand	Jan - marts 2013: 2 borgere/kunder fra Sydhavn	Nov 2012: Fokusgruppe 5 borgere/kunder, fra København og omegn		August 2012: 95 borgere/kundere svarer på Quick Pollen. Dec-marts 2012: Rundringning til 50 tilfældige borgere/kunder i Sydhavn
Borgere/kundere med installeret sekundavand	Sep – okt 2012 3 borgere/kunder fra Nordhavnsgården, (en initiativtager) 5 brugere fra BO90, (to initiativtagere)			
Professionelle og eksperter			Nov 2012: Professionelle: 9 deltagere Dec 2012: Projektgruppen: 10 deltagere	

15.4 Om tolkning af resultater

Efter en sammenligning af interviews med borgere/kunder, der har installeret sekundavand, og borgere/kunder, der ikke har installeret sekundavand, fremgår det at erfaringen med sekundavand ikke er afgørende for borgeres/kundernes holdninger til temaer som tillid, ønsket viden om sekundavandet, økonomi mv. Derfor bygger nedenstående afsnit på en samlet analyse af empiri fra fokusgruppe og interviews med borgere/kunder, der har og ikke har erfaring med sekundavand. Der er en undtagelse med det afsnit, der beskriver borgere/kundernes positive og mindre positive erfaringer med sekundavand.

Temaerne i undersøgelsen er fremkommet og udviklet undervejs i den eksplorative undersøgelse: I første omgang har vi på baggrund af ovenstående teoretiske perspektiver, af projektgruppens diskussioner af koncepterne og af kommentarerne i Quick Pollen

udkrystalliseret en række temaer som fx hygiejne, tillid og økonomi. Siden er disse suppleret og udviklet gennem interview og workshops. I alle interview er der først taget afsæt i en eksisterende hverdag (for de med erfaringer) eller en mulig fremtidig hverdag med de forskellige koncepter, hvor deltagerne havde mulighed for at bringe forskellige reaktioner, holdninger og argumenter frem, som yderligere blev udviklet i dialogen i fokusgruppen og workshoppen. Først herefter er der blevet præsenteret en række temaer med henblik på at undersøge respondenternes reaktioner på disse. Vi har gennem interviewene brugt fysiske ting som interviewpersonens egne badeværelser, vandhaner og vandflasker med vand søgt at bringe praksiselementer i spil fremfor kun at tale om temaerne. I fokusgruppeworkshoppen er indledningsvist præsenteret en række værdikort, som deltagerne individuelt har valgt og sat deres egne ord på. Siden er koncepterne diskuteret. I workshops og fokusgruppeinterview var det en central gruppeopgave, at deltagerne skulle forestille sig, at de i 2020 boede i en bolig i Nordhavn med et sekundavandsanlæg. Her fik de besøg af en gæst og samtalen kom til at dreje sig om sekundavand. Spørgsmålet gik på hvad der ville blive talt om i forhold til at der blev brugt sekundavand i boligen. Opgaverne blev formuleret med afsæt i de enkelte sekundavandskvaliteter (om der var tale om én vandkvalitet og dermed et et-strengt system (afsaltet havvand rensat til drikkevand) eller flere vandkvaliteter og dermed et fler-strengt system i boligen (de øvrige koncepter), og endelig om der var tale om et centralt system håndteret af en forsyning eller om der var tale om et lokalt anlæg, som fx blev håndteret af en ejerforening/lokal forening.

I den følgende beskrivelse af undersøgelsens resultater er der lagt vægt på at præsentere de temaer, der kom frem i undersøgelsen. Da det er en kvalitativ og eksplorativ undersøgelse, er der som udgangspunkt ikke angivet hvor mange af respondenterne, der fremfører disse perspektiver. I stedet er der vægt på at udfolde og nuancere perspektiverne. Citater er brugt til at nuancere og illustrere temaerne. Nogle synspunkter synes dog at være udbredte, hvilket vil fremgå. Temaerne bør diskuteres sammen med koncepterne i relation til at vurdere, prioritere og evt. planlægge en kommende proces med introduktion af sekundavand i Nordhavn, hvor man kan arbejde med de værdier, usikkerheder, bekymringer og vidensbehov og mulige historier, undersøgelsen har identificeret.

Vi understreger, at de holdninger og argumenter, der fremkommer i dette kapitel fx om vandressourcer og smag ikke skal ses som udtryk for forfatterens forståelser eller anbefalinger, men baserer sig på respondenterne i denne undersøgelse.

15.5 Borgerne/er positive overfor brugen af sekundavand i boligen

Det er en tydelig pointe at der er stor opbakning til at princippet om at bruge sekundavand i boliger.

I en rundringning til 50 tilfældige borgere/kunder i Sydhavn, svarede alle adspurgte borgere/kunder ja til at de gerne ville flytte ind i en bolig, hvor der bliver benyttet regnvand til toiletskyl. I Quick Pollen svarede alle 95 respondenter 'ja' til det samme spørgsmål. 51 personer valgte at skrive uddybende kommentarer til spørgsmålet, heraf er 20 af de 51 kommentarer direkte positivt opfordrende overfor at bruge sekundavand til toiletskyl, mens de øvrige fremfører tilhørende muligheder og forbehold og barrierer, der skal håndteres.

Princippet med at bruge sekundavand til toiletskyl i boligen får også fuld opbakning blandt deltagerne i de dybdegående interviews og i fokusgruppen. Alle interviewede personer mener således klart at det er en fordel at flytte ind i en bolig med sekundavand, fordi de føler de er

med til at spare på grundvandet. Hvis brugerne kunne vælge mellem to ens boliger, og kun forskel på brug af sekundavand, vil alle vælge boligen med sekundavand. Og flere nævner at de vil kunne tolerere begyndervanskeligheder og små fejl som fx synligt "*krummel*" i vandet. Tilsvarende vil deltagere der i forvejen har installeret sekundavand, vil gerne fortsat bo i en bolig med sekundavand, selv om de har oplevet problemer med systemet, hvor de fx i perioder har skullet hente vand fra vandhaner i en spand til at skylle ud med. Der er mange opfordringer til at komme i gang med at indføre brugen af sekundavand med det samme

12 ud af 51 deltagere i Quick Pollen uddyber, at de ønsker at bruge sekundavand til andet end toiletskyl, bl.a. havevanding, bilvask og tøjvask. Også i interviews og i fokusgruppeinterviewet er der stor opbakning til at bruge sekundavand til flere forskellige anvendelser i boligen. Der er således ikke indvendinger overfor brug af sekundavand til bilvask, havevanding og tøjvask, mens der er forskellige forbehold knyttet til at bruge sekundavand til badning, madlavning, opvask og det at drikke vandet, hvilket også relaterer sig til de enkelte forskellige sekundavandskvaliteter og vil blive uddybet i de kommende afsnit.

Der er også en række forskellige – men delvist sammenhængende - temaer, der på forskellig vis kobler sig til borgernes/kundernes positive holdning til sekundavand, som vil blive uddybet:

- Brugen af sekundavand er fornuftigt og hænger sæt sammen med ressource- og miljøperspektiver.
- At bruge sekundavand ses som en positiv mulighed for klimatilpasning og byudvikling.
- Der kan identificeres forskellige økonomiske aspekter i anvendelse af sekundavand.
- Tillid og sikkerhed er centrale temaer, som har flere nuancer.
- Adgang til viden har stor betydning for tillid og ejerskab.
- Det gælder også synliggørelse og historiefortælling og det at være first-mover.
- Der er flere perspektiver på det rene vand.
- Under overskriften drift og komfort er der en række aspekter af brugen af sekundvand i boligen.
- Design af vandsystemerne i boligen får nogle enkelte kommentarer.
- Endelig er der flere forskellige perspektiver på selve processen med at indføre sekundavand.

Disse perspektiver på vand, boliger og byudvikling uddybes i de følgende afsnit og sættes afslutningsvist sammen med de to workshops med professionelle. Der indledes dog med et kort afsnit om erfaringerne med brug af sekundavand i de to bebyggelser, der bruger henholdsvis regnvand til toiletskyl (Bo09) og gråvand og lokalt grundvand til toiletskyl (Nordhavnsgården).

15.6 Erfaringer med sekundavand i boligen

De beboere, der har erfaring med sekundavand i boligen, har ikke bemærket den store forskel ved at skifte fra grundvand til sekundavand. De synes det giver god mening, at der er sekundavand i toiletterne og mener det er et spild at have rent drikkevand i toiletterne. Der kan indimellem være lidt sort "*krummel*" i toiletterne fra sekundavandsanlægget, men det er ikke noget beboerne bekymrer sig om. I Nordhavnsgården har borgerne/kunderne oplevet problemer med sekundavandsanlægget, hvor det ikke var muligt at få vand til at skylle ud i toiletet over nogle dage. Man kunne dog skylle ud ved at tappe vand i en spand fra vandhanerne. Problemerne synes nu at være løst, og respondenterne er meget positive og mener, der er

mange fordele ved sekundavand. Flere respondenter fremhæver, at de synes det er meget positivt at bo i et hus der er bæredygtigt, og de er stolte af at være på forkant i forhold til bæredygtighed og miljø.

"At jeg bor et sted, der er lidt bedre bæredygtigt end så mange andre steder, det gør mig stolt over at jeg bidrager til noget bæredygtigt. Jeg har jo ikke noget af have det i, det er jo ikke mig der går ned og ordner vores anlæg, men ikke desto mindre synes jeg at jeg gør noget godt ved at bo her." (Beboer BO90)

Enkelte borgere/kunder fortæller om sekundavandsanlægget, når de har gæster, der interesserer sig for miljø, og at de oplever at regnvand i toilettet er meget konkret og let at forholde sig til for folk. Alle borgere/kunder, der på nuværende tidspunkt har bruger sekundavand i deres ejendom, vil gerne anbefale sekundavand til venner og kollegaer, og enkelte deltagere har anbefalet til venner at bruge sekundavand.

15.7 Miljø- og ressourceperspektiver

Miljøhensyn og mulighed for at spare på det rene drikkevand er et vigtigt incitament til at ville benytte sekundavand. I Quick Pollen omhandler 17 af de 51 kommentarer bekymringer og hensyntagen til det rene grundvand. Deltagerne i hele undersøgelsen uddyber at brugen af sekundavand er et vigtigt led i at tage hensyn til drikkevand og miljø. Et perspektiv er, at det er et ressourcespild at benytte rent grundvand til toiletskyl:

"Det kan da ikke gå for stærkt med at bruge regnvand til toiletskyl. Vi skal væk fra at bruge vores fine drikkevand til toiletvand." (Kommentar Quick Poll)

Og brugen af sekundavand kobles til det at spare på det rene grundvand, da dette opfattes som en begrænset ressource, der er under pres:

"Det er en meget fornuftig måde at spare på det dyre, og miljømæssigt sarte drikkevand." (Kommentar Quick Poll).

Der er også refereret til en global vandmangel som argument for ikke at fråse med det rene grundvand:

"Det har altid undret mig, at vi bruger rent drikkevand til toiletskyl. Når man tænker på at der er så mange mennesker i verden, som ikke har adgang til rent drikkevand." (Kommentar Quick Poll).

Brugen af sekundavand kobles af en række respondenter til noget med selvfølgeligt eller fornuftigt. I nogle af disse bemærkninger kobles denne fornuft direkte til at spare på ressourcen, mens brugen af sekundavand i andre svar i sig selv ses som fornuftigt. Det er således direkte uansvarligt at lade være:

"Jeg synes det er dybt mærkeligt at vi bruger rent vand i vores toiletter, og hvis vi kan finde nogle metoder, hvorpå vi på en hygiejnisk måde bruger eksempelvis regnvand, så synes jeg da at alt andet ville være uansvarligt." (Kommentar Quick Poll)

"I det miljøbevidste hjørne er det jo fantastisk, at man ikke bruger drikkevand til at skylle ud i et toilet med. For det er jo fuldkommen sindssygt. Så på den front er det jo rigtig godt." (Beboer Nordhavnsgården)

Flere fremhæver at det burde være selvindlysende ikke at benytte rent grundvand i toiletterne. Der opstilles således en modsætning mellem det rene grundvand og brugen til netop toiletskyl:

".. alt andet lige, at bruge rent vand til at skylle lort ud med." (Beboer BO90)

Brugen af sekundavand ses også i et bredere miljømæssigt perspektiv. Flere af interviewpersonerne vægter bæredygtighed, hvis der skal installeres sekundavand i Nordhavnen og peger på, at det er vigtigt at der ikke benyttes for mange ressourcer og for meget energi på at have sekundavand. Fx. stiller flere borgere/kunder spørgsmål til hvor meget energi det koster at afsalte havvand, og om det kan betale sig i forhold til bæredygtighed set i et helhedsperspektiv og én stiller spørgsmålstegn til hvor meget energi det koster at pumpe havvandet op.

"Når man skal ud og bygge noget nyt, så skal man også ud og tænke på miljøet. Man skal ikke bygge noget, som viser sig at svine mere end det gavner i sidste ende. Vi skal ikke ud og grave mere op og svine mere kun for at spare lidt på vandet i sidste ende, og for at installere noget nyt." (Deltager fokusgruppe)

Brugen af sekundavand kobles dog også til muligheden for at styrke flere miljø- og kredsløbsperspektiver på byen som fx genbrug af næringsstoffer og forgrønning og køling. Det er således en meget vigtig pointe i undersøgelsen, at der er en tæt kobling mellem den positive holdning til at bruge sekundavand og opfattelsen af at dette bidrager til ressourcebesparelser og miljøforbedringer. Der kan i den sammenhæng identificeres en mere eller mindre intuitiv forståelse af at bruge sekundavand som "fornuftig". Det hænger også sammen med den oplevede modsætning mellem det rene grundvand af drikkevandskvalitet og så det at bruge det i toiletterne til at skylle "lort" ud med.

Det er interessant at der er få respondenter, der forholder sig konkret til grundvandssituationen i København og byens opland. På baggrund af den stærke kobling mellem ønsket om at bruge sekundavand og behovet for at beskytte som en sårbar ressource kan vi opstille den hypotese at mange års vandsparekampagner i København har bidraget til en generel opfattelse blandt borgere om, at vandressourcen er under stærkt miljømæssigt pres og at der skal spares på denne. Diskussion om behovet for at spare grundvand genfindes i projektgruppen, hvor den handler om, hvorvidt grundvandet er under pres i det regionale perspektiv. Her peges også på, at der er mange andre aspekter i det stærke fokus på at spare på grundvandet, såsom behovet for at være selvforsynende og dermed mindre afhængig af forhandlinger med oplandskommunerne.

Man kan desuden stille spørgsmålet om forbruget vil stige, hvis man bruger sekundavand, fordi presset på at spare på ressourcen falder? I forlængelse heraf kan man se, at motivet til at indføre sekundavandssystemer i Nordhavnsgården var et højt vandforbrug. Et alternativ havde

jo været at undersøge hvorfor forbruget var højt og iværksætte tekniske forbedringer og vandbesparelser i husholdningerne.

Undersøgelsen kan også identificere deltagere, der kobler til en række andre miljøhensyn, der ifølge deltagerne må inddrages i at vurdere en evt. introduktion af sekundavand og de enkelte koncepter. Endelig ses brugen af sekundavand også koblet til en række muligheder for at forbedre byen kredsløb og miljø, hvilket uddybes i næste afsnit.

15.8 Oversvømmelse og byudvikling

Klimaændringer og overbelastede kloakker er for flere af undersøgelsens respondenter et incitament til at benytte regnvand til toiletskyl. Flere borgere/kunder har enten selv oplevet oversvømmelser eller har haft en nabo eller en kollega, der har haft oversvømmede kælder, og enkelte borgere/kunder fremhæver at opsamling af regnvand måske kan være en fordel i de tilfælde, hvor kloakkerne er overbelastede.

"Jeg syntes det er et fornuftigt tiltag, der både skåner grundvandet og på sigt kan afhjælpe oversvømmelser, som vi så i sommeren 2011. Desuden er det med til præge mentaliteten omkring klimabevidst adfærd og vil være med til at brande København som en grøn by." (Kommentar Quick Poll)

Der kobles til visioner til nye måder at bruge vand på. Vand fremhæves i undersøgelsen som et designparameter, der kan bruges til at åbne op for nye muligheder for byudvikling og give Nordhavn værdi som helt særlig sted:

"Og jeg synes det er rigtigt fornuftigt, når man kan sammentænke miljøtiltag med rekreative tiltag. Altså vand, at det bliver en eller anden form for... en rekreativ anvendelse af vand, så man også får sådan et smukt bymiljø ud af det. [...] Folk betaler gerne millioner for at bo i nærheden af vand. Jeg synes, det der med at få vand ind i byen i stedet for at grave det væk det er fornuftigt." (Beboer B090).

"Jeg tror, det bliver virkelig spændende. Det kan blive smart, det kan blive et fantastisk design at begynde at tænke på denne her måde. [...] i det hele taget at begynde at se vand som en ressource. [...]. Men der er mange ting i det vand som man kan bruge til noget. Som fx. der er jo næringsstoffer i det vand, som man kan bruge til at lave noget biomasse, og binde noget CO₂, så på den måde kunne både regnvand og gråvand være med til at begrønne en hel by og lave noget biomasse og binde noget CO₂, så på den måde så ligger der noget helt unikt i at begynde at se vandet, som et designparameter i en by, og selvfølgelig det er jo kun fantasien der kan sætte grænser for hvad vi kan bruge vand til. [...] Man kunne bruge det til også at køle husene ned, eller man kunne bruge det til utrolig mange ting, det der sekundære vand, som vil gøre den bydel vi boede i til noget helt særligt, og folk vil komme fra hele verden." (Deltager fokusgruppe)

Respondenter i undersøgelsen bringer således frem, at genbrug af vand kan have store potentialer for byudvikling og være et afsæt for nytænkning af byens kredsløb og design. Dette afsæt kan gøre Nordhavn til en unik bydel. Brugen af sekundavand og især regnvand kobles i undersøgelsen til klimatilpasning og forebyggelse af oversvømmelse. I projektgruppen kommenteres det, at der ikke i Nordhavn på samme måde som andre dele af byen vurderes at

være et problem med regnvand og oversvømmelse, idet regnvandet afledes direkte til havnen. Endvidere at regnvandsopsamling ikke nødvendigvis sikrer mod overfyldte kloaker og oversvømmelser.

15.9 Økonomiske aspekter

Der er mange forskellige holdninger til prisen for sekundvand. Det er en tydelig holdning blandt de undersøgte borgere/kunder, at de ønsker at betale den samme pris for sekundavand, som de betaler for den nuværende forsyning med grundvand. Det skal i hvert fald ikke være dyrere at gøre noget godt for miljøet i forhold til at belaste det. Enkelte borgere/kunder mener at vandregningen bør være billigere for at gøre det attraktivt, mens enkelte andre vil gerne betale mere for sekundavand. De lægger vægt på at de både kan få en højere komfort ved sekundavand, og samtidig kan gøre en indsats for miljøet. I dette tilfælde handlede det om afsaltet havvand, der af disse respondenter blev koblet til den øgede komfort ved nedsat kalkindhold i vandet, der således ikke vil sætte sig på fliser og i maskiner mv. En bruger nævner at kr. 1000 mere på vandregningen om året ikke vil gøre den store forskel i budgettet, trods de i forvejen har et stramt budget. En slående ting er at flere borgere/kunder ikke ved hvad de betaler i deres vandregning, og de vurderer, at det er så lille et beløb så det ikke gør nogen forskel i det samlede budget. At størstedelen af borgerne/kunderne ikke kender vandprisen eller deres udgifter til vand bekræftes af en undersøgelse gennemført for Høfor (2012).

Et andet økonomisk aspekt knytter sig til det at installere et to-strengt system, hvor det fremhæves at det vil være dyrere. Især fremhæves det at det vil være dyrt gennemføre i eksisterende byggeri.

"Jeg tror også det er en væsentlig faktor, dels hvis man skal bygge noget nyt men også hvis man skal have det ind i noget eksisterende. Ift. Nordhavn er det jo nye bygninger formoder jeg." (Deltagere fokusgruppe)

Endelig tillægges nogle af koncepterne at være dyrere end andre.

"Altså.. afsaltet havvand, så tænker jeg sådan lidt.. hmm.. at min første intuition er - er det ikke skide dyrt?" (Beboer B090)

Flere fremhæver det at der er en god privatøkonomi og herunder også for en boligforening med kollektiv afregning ved at bruge sekundavand idet man sparer afledningsafgift pga. et mindre forbrug af vand.

Der er således flere økonomiske aspekter knyttet til sekundavand, der kobles både til et privat forbrugerperspektiv og i et generelt samfundsmæssigt /ressourcemæssigt perspektiv. Der gives udtryk for at man gerne vil betale for en løsning, der bidrager til miljøet, især, men ikke hvis der samtidig er "free-ridere", der betaler mindre. I projektgruppen tillægges prisen en stor betydning for borgernes/kunders accept af sekundavand. Det anerkendes at der er få, der kender deres udgifter til vand og at dette udgør en meget lille del af en husholdnings økonomi. Samtidig er der en forståelse af at borgerne/kunderne er meget utilbøjelige til at ville bidrage til fx klimatilpasning. En anden diskussion i projektgruppen handler om en evt. merpris skal betales af beboerne i det konkrete byggeri med sekundavand eller fordeles som et kollektivt ansvar. Brugen af sekundavand ses i høj grad som en et fordyrende tiltag idet det forstås meget direkte

som konkrete investeringer, der skal foretages. Der tænkes ikke umiddelbart i totaløkonomi, hvilket i andre miljøfremmende projektet har været et salgsparemeter (Quitau et al. 2012). De mulige gevinster ved at udvikle viden om sekundavand og grøn vækst nævnes dog også.

15.10 Tillid og sikkerhed

I interviews og fokusgruppen fremgår det klart, at borgerne/kunderne på nuværende tidspunkt har en høj tillid til eksperterne ift. at vandet bliver rensat til en høj kvalitet. Nogle uddyber at deres tillid bygger på erfaring med drikkevand i Danmark. De har altid oplevet at vandet har haft en høj kvalitet og de få gange hvor drikkevandet har været forurenet, har der været en hurtig og klar advarsel omkring forureningen i medier og via. SMS tjenester. Det betyder også, at de har en høj tillid til at skifte til en ny form for vandforsyning med sekundavandsanlæg.

"Jeg har jo stor tiltro til, at der faktisk er myndigheder der kontrollerer den slags med drikkevand og at der bliver taget prøver og den slags - jeg har det sådan lidt, at hvis nogen siger god for det, så drikker jeg det. Der er jeg rimelig autoritetstro til sådan nogle fordi, det er ikke det jeg går og bekymrer mig om." (Beboer BO90)

De borgere/kunder der har erfaring med sekundavandsanlæg fremhæver deres oplevelse af, at eksperter og forsyningsselskabet har lagt stor vægt på at teste vandkvaliteten i sekundavandsanlæggene. Der er desuden tillid til at driften af sekundavandsanlæggene fungerer tilfredsstillende, og at eksperterne har forstand på at vedligeholde anlæggene. I Nordhavnsgråden, hvor enkelte deltagere har oplevet at sekundavandsanlægget ikke fungerede over flere dage, har brugerne mindre tillid til at driften altid vil fungere tilfredsstillende. Det fremgår således at der er en høj tillid til driften af sekundavandsanlæggene, men at denne tillid bliver brudt når brugerne oplever konkrete erfaringer med sekundavandsanlæg der ikke fungerer. Det er også et eksempel på at tilliden ikke er en konstant størrelse, men noget der ændrer sig over tid, alt efter de erfaringer brugerne har og får. Den anden side af den høje tillid finder vi blandt projektgruppens deltagere, hvor sikkerhed spiller en helt afgørende rolle og hvor flere vandkvaliteter, der føres ind i boligen udgør en risiko.

Af empirien fremgår det også at der er forskel oplevelsen af risiko, alt efter hvad sekundavandet skal benyttes til. Alle deltagere har fuld tillid til at benytte sekundavand til toiletskyl, også selv om de har små børn, der i værste tilfælde kan drikke af toilettet. Brugerne mener, at det er deres eget ansvar at forhindre at der er nogle, der drikker af toilettet. Ved tøjvask, havevanding og bilvask har brugerne også fuld tillid til at have sekundavand i ledningerne. En enkelt bruger nævner dog at hun er lidt nervøs for at der bliver brugt kemi til at rense sekundavandet, og at der er risiko for at dette smitter af på tøjet, men på trods af dette vil hun gerne have sekundavand i vaskemaskinen. I forhold til at benytte sekundavand til opvaskemaskinen er der en lille usikkerhed blandt brugerne. Enkelte borgere/kunder ønsker at vide hvordan sekundavandet er rensat, og hvorvidt der er brugt kemikalier til rensning af vandet, så de kan føle sig trygge ved at servicet bliver rent, når den bliver vasket med sekundavand. Dette drejer sig især om konceptet rensat gråvand og 'forurenet grundvand'. Brugerne stiller spørgsmål om ved om der kan være rester af bakterier mv. i det rensede gråvand, og hvorvidt der kan være rester af kemikalier i det rensede grundvand.

I forhold til at drikke sekundavand, der er rensset til drikkevandskvalitet var der både positive og negative reaktioner. Flere borgere/kunder havde tillid til at man kunne drikke vandet, mens andre borgere/kunder ikke umiddelbart ønskede at drikke sekundavand, selv om der var garanti for at det var grundigt rensset. Bekymringerne gik på om der kunne være langtidseffekter ved at drikke vandet fx. i forhold til kemikalier der blev benyttet til at rense vandet, eller om der kunne være rester i det rensede gråvand. I forhold til det rensede gråvand er der også et tillidsspørgsmål til andre borgere/kunder, ift. om de hælder giftige kemikalier eller andre ting i vandet, som kan påvirke rensningen og kvaliteten af vandet. I den forbindelse er der et par borgere/kunder der udtrykker at de

"hellere vil have deres eget gråvand, end de vil have naboens" (Deltager fokusgruppe)

I forbindelse med diskussionen om tillid, lagde flere borgere/kunder vægt på at det var vigtigt for dem at få viden omkring rensningen af vandet, og at viden eller blot mulighed for at få viden om rensningen vil styrke deres tillid og tryghed ved at vandet er sikkert at bruge og evt. drikke. Det uddyber vi i næste afsnit.

15.11 Adgang til viden

Tillid til sekundavandanlæggene hænger tæt sammen med viden omkring sekundavandanlægget. Flere borgere/kunder uddyber, at en øget viden omkring sekundavandanlægget og rensningsmetoder, vil øge deres tillid til at vandet er rent og sikkert at benytte. Størstedelen af interviewpersonerne udtrykker ønske om mulighed for at få viden om rensningsprocesserne. Flere borgere/kunder uddyber, at selv om de ikke er sikre på at de vil benytte denne viden, så gør det en forskel at muligheden eksisterer. En bruger udtrykker klart, at troværdig og tillid spiller sammen:

"Jeg vil gerne have noget troværdigt uafhængig information. Af nogen som har en høj faglig viden om de her ting og som er økonomisk uafhængige og også prestigeuafhængige af dem som, om jeg så må sige, sælger den her idé (...) Der skal være en troværdighed som kommer af at der er en eller anden form for kritisk tilgang."
(Beboer BO90)

Brugerne har forskellige ideer og tanker til hvilken viden de ønsker og hvordan formidlingen af sekundavandet kan videregives. Nogle borgere/kunder udtrykker ønske om en hjemmeside med let tilgængelig information. En bruger ønsker video-materiale der giver *"uafhængig faglig vurdering af sekundavandet"* (Beboer BO90) hvor en anden bruger ønsker skriftlig information omkring hvordan processerne med rensningen rent faktisk foregår, og en bruger lægger vægt på at det er vigtigt at der er en god beskrivelse af sekundavandet i salgsoplysningsmateriale til boligen.

15.12 Synlighed og historiefortælling

I forlængelse af ovenstående betyder synlighed af systemet også noget. Ifølge flere deltagere kan synlighed fremme at brugerne føler et større ejerskab overfor sekundavandet. Størstedelen af interviewdeltagerne er nysgerrige overfor at vide mere omkring hvordan sekundavandet bliver rensset og hvor det kommer fra, og det bliver diskuteret at det kan være spændende at have et lille "museum" i området med temaet sekundavand. To borgere/kunder nævner at det vil

være relevant for skoleklasser at komme ud og se, hvordan sekundavandsanlægget fungerer, og derfor optimalt hvis der er en udstilling med formidling omkring vandet. I Nordhavnsgråden har man arrangeret rundvisninger til systemerne, men der er mange beboere, der ikke har set dem.

Flere borgere/kunder uddyber at sekundavandet kan være med til at give en identitet til boligområdet, hvis der bliver mulighed for at komme på rundvisning omkring sekundavandet, og se rensningen i praksis, og at sekundavandet nogle steder er synligt i byen. En bruger siger fx.:

"At gøre sekundavandanlægget til en del af det at bo i området, så det bliver en del af bydelens identitet, så man får gjort det til en del af en international videndeling, så man får formidlet det ud, det tror jeg også på en måde vil være med til at skabe en bydelsmæssig identitet." (Deltager fokusgruppe)

Måske ikke så mærkeligt, så er der forskel på brugernes holdning til sekundavandet alt efter hvilket navn og historie vandet har. I de dybdegående interviews, blev navnet "renset forurennet grundvand" brugt, derimod blev navnet "lokalt grundvand" benyttet i fokusgruppen om det samme koncept. I fokusgruppen var man optaget af at det var positivt at grundvandet var lokalt, mens der i interviewene var man mere optaget af om det forurenede grundvand blev rensset godt nok.

Sekundavand kan være med til at brande et område ifølge en del respondenter, og flere vil føle sig stolte af at bo i område og af at være 'first-movere'.

"Jeg ville være stolt af at bo et sted, hvor man var miljøbevidste." (Respondent Quick Poll)

"Det skulle være et spændende projekt, hvor man ligesom kan gå ud at sige, det her har vi lavet, det viser sig sådan og sådan, vi er foregangsmænd." (Deltager fokusgruppe)

Dette bekræftes af deltagerne fra områder med sekundavand. Flere deltager henviser til andre projekter i Danmark og i udlandet, hvor der bruges sekundavand, som de har lagt mærke til.

Alt i alt peger samtaler med brugerne klart på at synliggørelse og vidensdeling vil øge tilliden til processen med at gå over til sekundavand. En kreativ formidling og synliggørelse i byområdet kan også være med til at skabe identitet til byområdet, og stolthed over at der brugerne er med til at gøre en forskel ift. at spare på det rene grundvand. En kreativ formidling af viden om vand og synliggørelse af vandsystemet kan således et vigtigt element i at styrke bydelen som oplevelsesrig og værd at besøge eller bo i.

15.13 Det rene vand

Undersøgelsen viser, at der er flere perspektiver på 'rent' vand. Mens flere af beboerne med erfaringer med sekundavand er parate til at se bort fra en let synlig forurening af vandet i toiletet, så mener andre, der kun har erfaringer med det rene grundvand, at der skal stilles krav til dette:

"Betingelsen er at lugt og gener fra snavs, som kanter i vandspejlet fra støv mm fjernes."
(Respondent Quick Poll)

Lugtgener nævnes ikke blandt de med erfaring med sekundvand.

Også renseprocessen betyder noget. Nogle borgere/kunder tillægger det ikke nogen betydning hvordan vandet er rensset, så længe vandet er testet og de føler sig trygge ved at sekundavandet er rent. De stoler på rensningen af sekundavandet, og de målinger der bliver foretaget af vandet. En anden del af deltagerne ser grundvandet som naturligt og sundt. De lægger fx vægt på at vandet gennem mange år er løbet gennem forskellige lag i jorden, og indeholder forskellige mineraler, som er sunde for kroppen. De stiller spørgsmålstejn ved, hvordan rensningen af sekundavandet foregår, og om det er en kemisk rensning, og dette bekymrer dem hvis de skal drikke vandet. Disse brugerne vil gerne fortsat benytte det rene grundvand til drikkevand, og gør også opmærksom på grundvandet som en knap ressource, som det er vigtigt at bevare og værne om, og finder det derfor relevant at have sekundavand til toiletskyl og tøjvask mv.

15.14 Drift og komfort

Stabiliteten i driften kommer frem på flere måder i undersøgelsen. Beboerne fra B090, som har erfaringer med brug af regnvand i toiletter oplever, at det fungerer uden problemer, det gælder også for gråvandsanlægget i Nordhavsgården. Derimod har man i anlægget i Nordhavsgården, der bruger lokalt grundvand i toiletterne, oplevet problemer med driften. Problemerne synes at opstå efter anlægget blev oversvømmet i forbindelse med regnhændelsen i København juli 2011. Det gav langvarige problemer og især en nytårsaften, hvor mange havde gæster gav det anledning til en del frustration, at der ikke var vand i toiletterne. Det har også givet anledning til en del frustration hos bestyrelsen, der har måttet håndtere klagerne, ligesom Ejendomsinspektøren flere gange har måttet køre ind udenfor den almindelige arbejdstid for at starte anlægget. Siden der blev installeret en meget stor ekspansionsbeholder på taget har det fungeret. Nu håber alle, at det forsat vil fungerer godt, så man ikke lægger mærke til anlægget i hverdagen.

I B090 er der en høj grad af selvforvaltning, hvor beboerne selv drifter systemet og har opbygget en viden om systemet. I Nordhavsgården varetages driften af professionelle og i perioden, hvor anlægget ikke fungerede spillede producenternes eksperter en stor rolle med at få det til at fungere. Beboerne har ikke her været involveret i at finde løsninger, men har været ret tålmodige og er fortsat positive på trods af problemerne.

Der gives udtryk for tilfredsved ved at der er fagfolk i forsyningen, der varetager systemet og det synes også at være forventningerne til et evt. sekundavandssystem. Dette skal i sammenhæng med ovenstående afsnit om tillid, hvor troværdighed vægtes.

I fokusgruppeinterviewet blev deltagerne bedt om at vælge nogle ud, blandt en række værdikort. Her blev der sat følgende ord på stabil drift:

"Det er vigtigt at det er stabilt i drift, at det virker, at man ikke skal ringe efter blikkenslageren hele tiden, fordi det går i udu." (Deltager fokusgruppe)

Ligesom der er nogle bekymringer om besværligheden:

"Det er i hvert fald en af de bekymringer jeg godt kan have, jamen så begynder jeg at gå ind i sådan noget teknisk noget, skal man så have sådan nogle omstillere, hvordan får man vandet ind i huset? [...]. (Deltager fokusgruppe)

Men sekundavand i form af afsaltet havvand fremhæves også at kunne øge komforten i hverdagen. Flere nævner kalkproblemer, og at de ofte skal afkalke kaffemaskinen og vandhaner. Det vil give en større komfort, hvis de kan undgå denne afkalkning. Det vil således være en kvalitet, som kan tillægges nogle af de foreslåede koncepter.

"Jeg vil da også gerne bade og vaske tøj i regnvand. Både hår og tøj og maskinernes varmelegemer vil have godt af det kalkfri vand." (Respondent Quick Poll)

15.15 Design i boligen

Flere borgere/kunder finder det vigtigt, at der bliver lavet et pænt design i boligen, hvor sekundavandet kan indgå i designet og evt. være synligt nogle steder i boligen. Der er dog ikke ønske om at der er mange synlige rør.

De forskellige koncepter forholder sig forskellig til, hvorvidt der skal være to rørsystem i boligerne (et med sekundavand og et med rent grundvand), eller om der skal være et rørsystem som i det nuværende system (hvis sekundavandet bliver rensat til drikkevandskvalitet). Størstedelen af de interviewede personer synes det er fint hvis der er to rørsystemer, der adskiller sekundavandet fra det rene grundvand. Flere borgere/kunder mener også sekundavandet ikke nødvendigvis skal renses til drikkevandskvalitet, når det fx. benyttes til toiletskyl. Nogle borgere/kunder synes det vil virke for fremtrædende, hvis rørene har forskellige farver, mens andre borgere/kunder lægger vægt på at rørene skal have forskellige farver, så man ikke tager fejl under en evt. reparation.

15.16 Implementeringsprocessen

Der er den del pointer, der relaterer sig til processen med at indføre sekundavand.

I B090 ligger processen en del år tilbage. Det var som i Nordhavn et nybyggeri og processen beskrives som en eksperimentel tilgang, hvor man skulle prøve det nyeste byøkologi, som der var råd til. Det var i høj grad en beboerdrevet proces, hvor beboerne selv på forskellig vis havde stor viden, og også trak på en række eksterne eksperter. I Nordhavnsgården har det været en anden proces. Det er for det første gennemført i en stor eksisterende bebyggelse, hvor der er installeret to systemer og et større anlæg i kælderen. For det andet har kun en mindre gruppe af beboerne været aktive i processen. Beboerne har været involveret gennem det formelle beboerdemokrati, og de har således stemt beslutningen og herunder budgettet igennem. Initiativet og det flerårige arbejde med at udvikle projekter, søge midler og gennemføre det er varetaget af de aktive i bestyrelsen. Formanden for bestyrelsen i Nordhavnsgården beskriver, at det har været en lang og meget ressourcekrævende opgave bl.a. med mange myndighedskrav og procedurer. Da der desuden har været mange klager fra borgerne, da sekundavandsanlægget ikke fungerede i en lang periode, har hun ikke umiddelbart mod på at tage ansvaret for at en tilsvarende implementering af sekundavandsanlæg igen. Der var ikke meget hjælp at hente blandt eksperterne. Det tog producenterne meget lang tid at løse

problemerne, hvilket, vurderer hun, hænger sammen med, at der i Danmark ikke er viden om og erfaringer med denne type anlæg.

At det er en ny tilgang blev også tydelig i Quick Pollen, hvor flere deltagere benyttede lejligheden til at stille spørgsmål til forsyningsselskabet og efterlyse viden og konkrete virksomheder, som kan anlægge et system:

"Vi skal skifte vores toilet i kælderen. Vil MEGET gerne installere toilet som bruger opsamlet regnvand!!! Vil gerne deltage i workshop og leder efter information om anlægget samt firma som kan udføre arbejdet. Alt er af interesse, Også vil bruge regnvand til vask hvis det bliver muligt."
(Respondent Quick Poll)

Flere af deltagerne fremhæver, at der er mange barrierer for at indføre sekundavand:

"Der er for mange regler, afgifter samt regulativer som gør brug af Sekundavand til en dyr investering/fornøjelse for den enkelte bruger. Såfremt det blev billigere samt en simplificering af disse regler og regulativer vil brug af sekundavand blive mere udbredt." (Respondent Quick Poll)

At det forstås som en omstillingsproces med tekniske og organisatoriske aspekter, hvor der skal overvindes barrierer, udvikles viden og erfaringer illustreres af følgende citat:

"Det er en rigtig god ide, der burde have været indført for længe siden. Når det først er blevet en udbredt standard vil tekniske og administrative/vedligeholdelsesmæssige problemer forsvinde."
(Respondent Quick Poll)

En deltager forstår, at en af måderne at fremme brugen af sekundavand på, er at det kunne være et krav i lokalplanen for alt nybyggeri i byen.

15.17 Pointer fra workshop med nøglepersoner

I workshoppen deltog nøglepersoner fra Miljøpunkt Nørrebro, Miljøtjenesten og Energi- og Vandværkstedet, Områdefornyelsen i Skt. Kjelds Kvarter, Grundfos, FSB, Tredje Natur, Hofor (det daværende Københavns Energi), Aalborg Universitet samt en selvstændig landskabsarkitekt.

Nøglepersonerne understregede, at sekundavandsprojektet skal have fokus på bæredygtighed og lokale løsninger. Deres råd til at gennemføre en evt. brug af sekundvand vil være at beboerne i Nordhavn skal ses som trendsættere, så projektet kan blive et pilotprojekt for resten af verden, og så brugerne bliver stolte af projektet. Det vil være vigtigt at inddrage vandets værdi og naturværdi i projektet. De fremhæver at mange borgere/kunder har en følelsesmæssig kobling til vandet, hvilket også spiller ind i forhold til hvorvidt brugerne kan forholde sig til sekundavandet, fx. hvis man skal drikke naboens rensede vand.

Endvidere peger de på, at implementering af lokal rensning af gråt spildevand kræver et større fokus på hvad brugerne hælder i kloaken, fx. må man under ingen omstændigheder hælde medicinrester, maling og klor i kloaken, idet rensesystemet ikke er i stand til at oprense vandet. Synligheden bliver vigtig, således at der ikke sker fejl.

15.18 Opsamling

Undersøgelsen viser, at brugerne er positive overfor installation af sekundavand i boligen, og alle giver udtryk for at de kunne tænke sig at flytte ind i en bolig med sekundavand til toiletskyl. Størstedelen af deltagerne synes også, at det er positivt med sekundavand til tøjvask, opvaskemaskine, bilvask, havevanding. Der kan spores noget skepsis i forhold til at drikke sekundavand, selv om det er rensat til drikkevandskvalitet, og flere borgere/kunder foretrækker at beholde det rene grundvand til drikkevand.

Det er vigtigt at understrege, at deltagernes incitamenter til at være positive overfor sekundavand i boligen i meget høj grad er ressource- og miljøhensyn. Der ses en tæt kobling mellem at bruge sekundavand og at gøre noget for at spare på det rene grundvand, samt at få et bedre vandmiljø i Danmark. Hvis det således kan påvises, at der ikke er miljø- og ressourcemæssige argumenter vil opbakningen formodentlig være væsentlig mindre. Der er stor tillid til eksperternes viden på området. Generelt har brugerne en høj tillid til at vandforsyningen fungerer optimalt og der er rent vand i hanen, hvilket bygger på de positive erfaringer de har med forsyningen og driften. Brugerne har tillid til at sekundavandet bliver rensat tilfredsstillende, når det benyttes til toiletskyl, tøjvask, opvask, havevanding og bad, mens der er en større mistillid og skepsis ift. at drikke sekundavand. Flere deltagere føler sig usikre på, om der kan være langtidseffekter ved at drikke vandet, og stiller spørgsmålstejn til hvordan drikkevandet er blevet rensat, og hvorvidt der kan være rester af kemi i vandet efter rensningen. Der vil således være behov for oplysning på området.

De borgere/kunder, der har erfaringer med at sekundavandsanlægget er ustabil, har mindre tillid til at driften af sekundavandet vil fungere tilfredsstillende. De er dog samtidig imødekommende overfor systemet, da de mener det er vigtigt at bruge sekundavand for at spare på vandressourcen. Brugernes tillid til drift og rent drikkevand er en foranderlig størrelse, og ændrer sig alt efter hvilke erfaringer de har med sekundavand, og når der installeres et nyt system med sekundavand. Det vil være vigtigt at systemet følges tæt og evt. problemer håndteres hurtigt og med en god og løbende information til beboerne.

Der er flere opfattelser af priser. Størstedelen af deltagerne i undersøgelsen mener, at sekundavandet principielt skal koste det samme for brugerne, som det rene grundvand koster. Det skal i hvert fald ikke være dyrere at gøre noget godt for miljøet i forhold til at belaste det. Men vil gerne betale for et godt miljø, men ikke hvis der samtidig er 'free-ridere', der slipper billigere. Det er bemærkelsesværdigt at flere deltagere ikke ved hvad de betaler for deres vandregning. Dette bekræftes af en undersøgelse, der er gennemført af Danva for Høfor (tidligere Københavns Energi) i 2012.

Størstedelen af deltagerne synes det er fint, hvis der er to rørsystemer, så sekundavandet er adskilt fra det rene grundvand, og flere mener at sekundavandet ikke nødvendigvis skal renses til drikkevandskvalitet, når det fx. benyttes til toiletskyl.

Alt i alt peger materialet på, at borgerne ikke skal opfattes som en barriere for at indføre sekundvand, især hvis der kan argumenteres i forhold til miljø- og ressourceforbedringer.

Adgang til viden vil øge tilliden til skiftet fra rent grundvand til sekundavand, og der kan peges på potentialerne ved en mere kreativ formidling og synliggørelse i byområdet, da det vil være med til at skabe identitet til byområdet og styrke ejerskabet. Det vil også være afgørende for holdningen ved evt. problemer med anlægget.

15.19 Referencer

- Brown, R.R.; Keath, N.; Wong, T.H.F. (2009): Urban water management in cities: historical, current and future regimes. *Water Science & Technology – WST*, 59.5.
- Hoffmann, B.; Jensen, J. O.; Elle, M.; Nielsen, S. B. (2005): Water Saving Strategies & Ecological Modernisation: Transitions, Targets & Tools. In: *Proceedings of the 9th international conference on Environmental Science and Technology*, p. 90-Rhodes ISBN: 1106-5516.
- Hofo (2012): Sammendrag af kundetilfredshedsundersøgelse. Gennemført af DANVA i efteråret 2012 for Københavns Energi.
- Jensen, J.D.; Fratini, C.; Lauridsen, E.H & Hoffmann, B. (2013): From hygiene to harbour bathing: A navigational analyses of urban transition processes in the waste water regime in Copenhagen. Paper fra 2013 IST Conference. Zürich June 2013.
- Lindegaard, H. (2001): Ud af røret? Planer, processer og paradokser omkring det københavnske kloaksystem 1840-2001. PhD afhandling fra Danmarks Tekniske Universitet.
- Quitau, M.; Hoffmann, B.; Elle, M. (2012): Local niche planning and its strategic implications for implementation of energy-efficient technology. *Technological Forecasting and Social Change*.
- www.danskbyøkologi.dk (07.12.2012)
- www.nordhavnsngaarden.dk (27.7.2013)

Bilag A Arealplan Sundmolen og Trælastholmen



Indre Nordhavn samlet	340,099 m ²
Grundareal af Indre Nordhavn*	160,996 m ²
Grundareal byggefløjer:	519,218 m ²
B/E:	38,071 m
Parkerings:	

TRELASTHOLMEN	
Grundareal af Trelastholmen* :	43.431 m ²
Grundareal byggelejer:	17.170 m ²
BE:	79.552 m ²
Parkerings:	6.825 m ²

SUNDMOLEN	98 055 m ²
Grundareal af Sundmolen* :	45 608 m ²
Grundareal byggefeltet:	137 481 m ²
B/E:	14 868 m ²
Parkerings:	
Offentligt areal (eksl. vand):	52 449 m ²

ARHUSGADEKVARTERET:	
Grundareal at Arhusgadekvartret*:	196 613 m ²
Grundareal byggerier:	96 220 m ²
B/E:	302 185 m ²
Parkerings:	16 378 m ²
Offentligt areal i alt (eksl. vand):	101 593 m ²

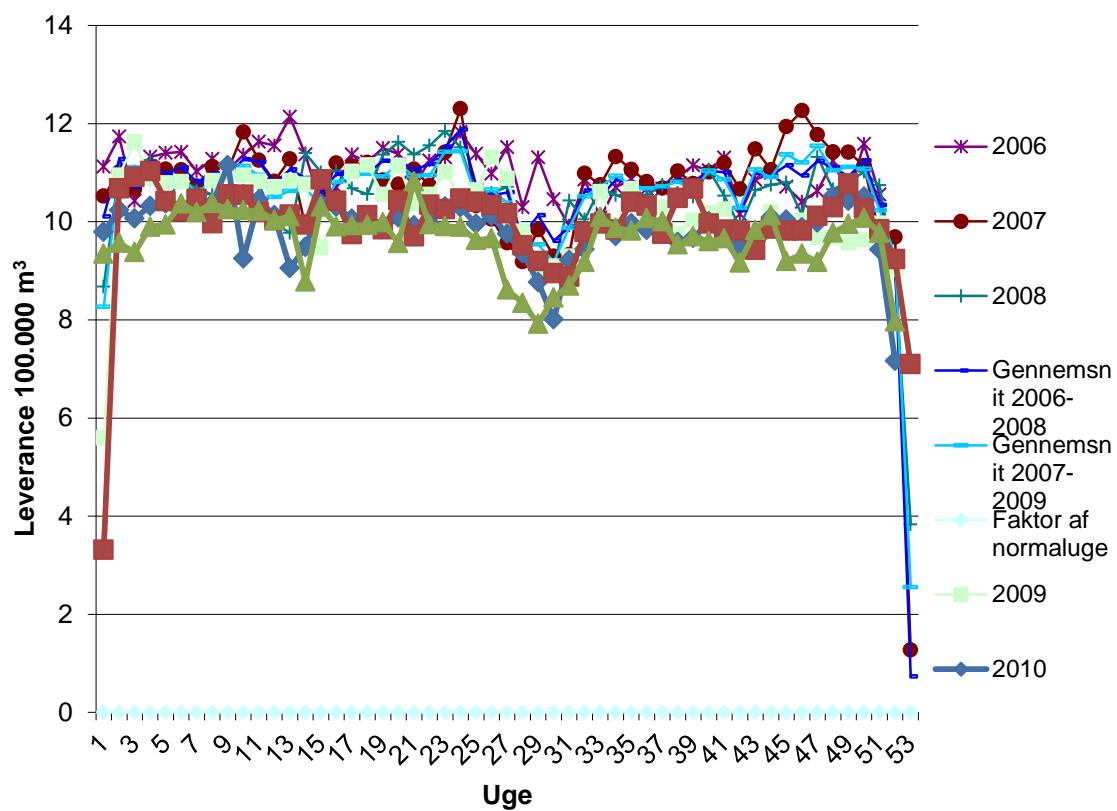
	Sunklogrønde:	10,316 m²
	Loop:	13,592 m²
	Hølmgade klassisk:	7,893 m²
	Hølmgade shared space:	10,139 m²
	Busbane:	3,743 m²
	Grundbelægning	19,361 m²
	Pladser:	17,248 m²
	Promenader:	15,558 m²
	Lømparkerer:	4,048 m²

NORDHAVNEN	
Man	Person
Man	Person
Man	Person

BY&HAVN
SLETH
MODERNISM
POLYFORM
RAWSD/LC
Kilgus 2, 2003 V
TE 40380000

<p>Erre: <i>Eclogaboscian</i> into Northern Annapolis</p>	
<p>Fig: <i>WJ</i></p>	<p>Date: 30.05.2019</p>
<p>Cont. spec: <i>HAU</i></p>	<p>Site: 120000</p>

Bilag B Vandforbrug sæsonvariation København



Figur E-15.1 Årsvariation i vandforbrug København. Ugeforbrug 2006-2009 (Data fra HOFOR).